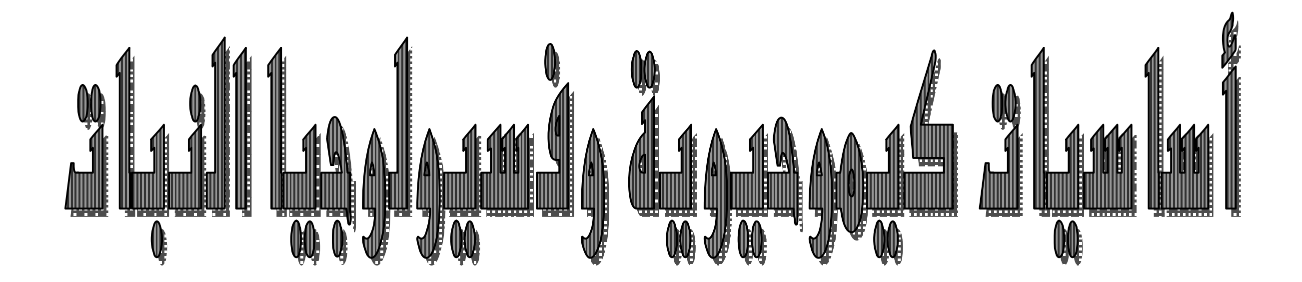


جامعــة المنصـــورة

كــليـــة الــزراعـــة

قسم فسيولوجيا النبات

Fundamentals of Plant Biochemistry and Physiology



دكتــور

محب طه صقر

أستـاذ فسيولوجيا النبات

كليـة الـزراعـة – جـامعـة المنصـورة

إهـــداء

أهدى هذا الإنتاج العلمى إلى المكتبــة العربيــة وأبنائى مــن طــلاب العلــم إبتغــاء مرضــاه اللّه سبحانه وتعالى.

واللّه الموفق

د. محــب طــه صقــر

أستاذ فسيولوجيا النبات

كلية الزراعة ـ جامعة المنصورة

المحتـــويـــات

مـقـدمـة

علم فسيولوجيا النبات هو العلم الذى يهتم بوظائف الأعضاء والعضيات فى الخلايا النباتية وهو من أهم العلوم البيولوجية التى تتيح لنا فرصة التأمل فى خلق الله لما فى الكون من مخلوقات تثير الدهشة والإعجاب فى قدرة الله التى تدل على عظمة خلقة. ولكى نتفهم علم فسيولوجيا النبات جيداً، وجب علينا التطرق إلى دراسة الكيمياء الحيوية النباتية وعمليات التحول الغذائى والبيولوجيا الجزيئية وعلاقة النبات بالوسط الذى يعيش فيه من أرض وماء وهواء وكلها علاقات فسيولوجية بيوكيماوية تثير الدهشة لما فيها من إعجاز.

يجب توضيح أن علم فسيولوجيا النبات ليس فقط هذا العلم الأكاديمى البحت ولكنة أيضاً علم له تطبيقاته الهامة فى حياتنا اليومية.

حكى القرآن الكريم عن النبات وأوردة تورية وجليا، وأقسم به ربنا فى محكم الآيات فقال "**والتين والزيتون**" وشبه النبات والشجر بأطيب الكلمات فقال "**ألم تر كيف ضرب الله مثلا كلمة طيبة كشجرة طيبة**" وأظهر الله من خلال النبات عظمة خلقة، إذ أخرج فى عالمه الأموات من الأحياء والأحياء من الأموات فقال "**إن الله فالق الحب والنوى يخرج الحى من الميت ويخرج الميت من الحى ذلكم الله فأنى تؤفكون**". وذكر الله تعبيراً رمزياً عن علامات من جعل بينهم المودة والرحمات فقال "**نساؤكم حرث لكم فأتوا حرثكم انى شئتم**". كما دعانا الله إلى النظر والتمعن فى النبات للوصول إلى أفضل العبادات فقال "أفرأيتم ما تحرثون أأنتم تزرعون أم نحن الزارعون وقال "**فلينظر الإنسان إلى طعامه إنا صببنا الماء صباً ثم شققنا الأرض شقا فأنبتنا فيها حباً وعنباً وقضباً وزيتونا ونخلا**". وأخبر الله عن النبات انه مسبحاً وساجداً لرب العباد "**والنجم والشجر يسجدان**".

وسوف نورد فيما يلى بعض الألفاظ المتعلقة بالنبات وأسمائه وصفاته وما يلحق به من حرث وزرع ورفرف ومراعى وضريع وغثاء وخمط وزقوم وأثل وسدر وحب وحصيد وثوم وعدس وبقل وبصل وقثاء ويقطين وتين وزيتون وقنوان وأفنان وطلع وطلح ونخيل وأعناب وينع وتمر وزنجبيل وكافور وحدائق وفاكهة ورمان. وذلك لما للنبات من فوائد جمة فهو يسهم فى غذائنا وكسائنا ودوائنا، فمن أخشابة نتخذ أدوات البناء، ومن أليافه نصنع الكساء ومن توابله نتخذ المشهيات ومن زهوره وثماره نصنع الأشربة ونستخرج العطور ومن أعشابه نتخذ العقاقير.

لذلك سوف نتطرق إلى ذكر بعض الألفاظ النباتية التى ذكرت فى بعض آيات القرآن الكريم.

بعض ألفاظ النبات الواردة فى القرآن الكريم

١ ــ أبا . " وحدائق غلبا وفاكهة وأبا " **(عيسى ٣٠ –٣١)** والأب هو المرعى وهو أجود أنواع الكلأ.

٢ ــ أثل. "فاعرضوا فأرسلنا عليهم سيل العرم وبدلناهم بجنيتهم جنتين ذواتى أكل وخمط وأثل وشيء من سدر قليل" (سبأ). والأثل شجر من الفصيلة الطرفاوية ومن خشبة تصنع أجود الأبواب.

٣ ــ أكُلها . "أكُلها دائم" **(الرعد ٣٥)**. والأكل هو الثمار والفاكهة.

٤ ــ الأيكة . "أصحاب الأيكة وقوم تبع" **(ق ١٤)**. والأيكة هى الشجر الكثيف الملتف.

٥ ــ البصل "وإذ قلتم يا موسى لن نصبر على طعام واحد فادع لنا ربك يخرج لنا مما تنبت الأرض من بقلها وقثائها وعدسها وبصلها" **(البقرة ٦١)**. والبصل معروف منذ القدم وهو من الفصيلة الزنبقية وينمو تحت الأرض وله جذور عرضية.

٦ ــ **البقل**: الآية السابقة والمقصود به البقول ويقال انه العشب الذى ينبت فى الربيع ويأكله الناس و البهائم.

٧ ــ **التين**: "والتين والزيتون" **(التين ١)** والتين فاكهة وغذاء والزيتون وهو من المخللات الشهية كما يعصر ويستخرج من الزيت.

٨ ــ **الحب** "أن الله فالق الحب والنوى" **(الانعام٩٥)** والحب مثل حبوب النجيليات كالشعير والذرة والدخن والقمح. والنوى مثل نواة الثمار من تمر وخوخ ومشمش.

٩ ــ **الخردل** . وان تك مثقال حبة من خردل **(الأنبياء ٤٧)** وهو من الفصيلة الصليبية وثمرة الخردل تحتوى على بذور سوداء أو بنية صغيرة الحجم وهو من التوابل.

١٠ ــ **الخمط** . "وبدلناهم بجنتيهم جنتين ذواتى أكل وخمط" (سبأ١٦) والخمط هو نبات ثمرة مر لا يؤكل وتعافة النفس.

١١ ــ **رفرف** . "متكئين على رفرف خضر" **(الرحمن ٧٦)** وهو ما تهدل من الشجر والنبات.

١٢ ــ **الرمان** . "والزيتون والرمان متشابه وغير متشابه" **(الأنعام ٩٩)** والرمان ثمار بذوره طعمها لذيذ ومعروف للجميع.

١٣ ــ **الريحان** . "الحب ذو العصف والريحان" **(الرحمن ١٢)** وهو نبات طيب الرائحة

١٤ ــ **زنجبيل** . "ويسقون منها كأسا كان مزاجها زنجبيلا" **(الإنسان ١٧)** وهو نبات معمر يستعمل فى الطهو ويكسب المشروبات نكهة طيبة.

١٥ ــ **سدر** . "فى سدر مخضود" **(الواقعة ٢٨)** والسدر هو شجر النبق ويستخرج منة مواد تفيد فى تقوية أصول الشعر ووقف نزيف الدم وقرحة المعدة والربو وأمراض الرئة.

١٦ ــ **شجر الزقوم** . "إن شجرة الزقوم" **(الدخان ٤٣)** وهى شجرة طعمها مر وكريهة الرائحة وإذا أصابت جسد إنسان تورم.

١٧ ــ **ضريع** . "ليس لهم طعام إلا من ضريع" **(الغاشية ٦)** وهو نبات اخضر نتن يرمية البحر وهو من شجر جهنم.

١٨ ــ **طلح** . "وطلح منضود"(الواقعة ٢٩) وهو الموز.

١٩ ــ عدسها . **(البقرة ٦١)**. والعدس معروف للجميع.

٢٠ ــ **العصف**. "فجعلهم كعصف مأكول" **(الفيل ٥)** وهى الأوراق التى تغلف ساق النبات بعد جفافها ويقصد بها التبن.

٢١ ــ **العنب** . "وجنات من أعناب" **(الأنعام ٩٩)** والعنب معروف للجميع .

٢٢ ــ **افنان** . "ذواتا افنان" **(الرحمن ٤٨)** وهى الأغصان المورقة.

٢٣ ــ **الفوم** . "وفومها وعدسها وبصلها" **(البقرة ٦١)** وتعددت التفاسير فقد يقصد بها الثوم أو الحمطة أو الحمص.

٢٤ ــ **القثاء** . **(البقرة٦١)** وهو الخيار.

٢٥ــ **القطمير**. "والذين تدعون من دونه ما يملكون من قطمير" **(فاطر١٣)** والمقصود به القشرة الرقيقة المغلفة للنواة.

٢٦ ــ **اليقطين** . وانبتنا علية شجرة من يقطين" **(الصافات ١٤٦)** وهو نبات من القرعيات.

٢٧ ــ **الكافور** . "وكان مزاجها كافور" **(الإنسان ٥)** ويقصد بها طلع النخيل أو الأشجار العالية الضخمة.

٢٨ ــ النجم . "والنجم والشجر يسجدان" **(الرحمن ٦)** وهو كل نبات عشبى ليس له ساق.

تـقـديم

أ.د/ محب صقر

تركيب ووظيفة الخلية النباتية

يتوقف مفهوم فسيولوجيا النبات على فهم الأساس التركيبى والوظيفى للخلية النباتية الحية. ولقــد ســاعد الميكروسكوب الإلكترونى فى توضيح المعالم التركيبية للخلية الحيه. تتميز الخلية النباتية الحية بوجود جدار خلوى يحيط بالبروتوبلازم والذى يحوى العديد من العضيات البروتوبلازمية. ويحــاط الســيتوبلازم بغشــاء رقيق يعرف بالغشاء البلازمى. ومن العضيات البروتوبلازمية الميتوكوندريا ــ البلاستيدات ــ الريبوسومات ــ البيروكسيزومات ــ الجليوكسيزومات. كما توجد بعض التركيبات الغشائية مثل الشبكة الإندوبلازميــة ــ جهاز جولجى. كما تمثل الفجوات جزءاً من تركيب الخلية النباتية أيضاً وهى تختلف فى الحجم وفى طريقــة توزيعها داخل الخلية، كما تحتوى على سائل يطلق علية العصير الخلوى و الذى يحتــوى علــى ســكريات وأملاح و صبغات و بللورات .... الخ. كما يختلف حجم الخلية من نسيج لأخر. كما يتراوح حجم الخلية ما بين عدة ميكرونات إلى عدة ملليمترات. كما يتوقف حجم و شكل النبات الراقى عامة على عــدد و شــكل و طريقة تنسيق الخلايا المكونة له. ونتناول فى الجزء التالى تركيب الخلية النباتية مع ذكر بعــض الوظــائف لأهم العضيات الموجودة.

١. جدار الخلية:

يقوم البروتوبلاست الحى بإنتاج الجدار الخلوى وتدعيمه والسليلوز هو المــادة الكربوهيدراتيــة الرئيســية المكونة للجدار الخلوى. كما تشكل المواد البكتينية ــ الهيميسليلوز ــ اللجنين ــ السوبرين ــ البروتينــات جزءاً هاماً من مكونات الجدر الخلوية. كما يتكون الجدار الخلوى من عدة طبقات رئيســية هــى الصــفيحة الوسطى ــ الجدار الإبتدائى ــ الجدار الثانوى.

أ ـ الصفيحة الوسطى:

يبدأ تكوين الصفيحة الوسطى فى الطور النهائى للإنقسام المباشر للخلية وتحدث عدة تغيرات فى هذا الــدور من الإنقسام أهمها:

- **هجرة الإنيبيات الدقيقة الموجودة فى السيتوبلازم فى إتجاه المنطقة الإستوائية وتتداخل مع اللويفات ويتكون الفراجموبلاست.**
- **تتجه أيضاً الحويصلات إلى خط الإستواء وتلتحم مع الفراجموابلاست لتكوين الصفيحة الخلوية. وتحتوى هذه الحويصلات على مواد بكتينية تشارك فى تكوين الصفيحة الوسطى والمادة البكتينية الموجودة بهذه الحويصلات عبارة عن حمض البكتيك الذى يحتوى على ١٠٠ جزيء من حمض الجلاكترونيك على الأقل.**
- **كما توجد مواد أخرى تشترك فى تكوين الصفيحة الوسطى مثل أملاح الكالسيوم والمغنسيوم بالإضافة إلى كميات بسيطة من البروتوبكتين. وهذه الأملاح هى التى تعطى الصلابة المميزة للصفيحة الوسطى.**

ب ـ الجدار الإبتدائى:

بمجرد تكوين الصفيحة الوسطى يزداد حجم الخلية وتستطيل ويتبع ذلك تشرب الصفيحة الوسطى بثلاث أنواع من المركبات هى:

١ ــ السليلوز. ٢ ــ الهيميسليلوز. ٣ ــ الجليكوبروتين.

وينتج عن هذا الترسيب من الجهة الداخلية للخلية طبقة رقيقة سمكها من ١ ــ ٣ ميكرون. ويطلق على هذه الطبقة الجدار الإبتدائى. ومن المعروف أن الصفيحة الوسطى تقع دائماً بين الجدار الإبتدائى للخلايا المتلاصقة.

ج ـ الجدار الثانوى:

من المعروف أنه بمجرد تكوين الخلايا البارنشيمية تتوقف الخلايا عن الإستطالة وعن ترسيب مواد أخرى للجدار بينما فى البعض الآخر مثل الألياف والقصيبات فإن الجدار يستمر فى التغلظ وذلك يترسب طبقات إضافية من السليلوز واللجنين ويتراوح سمك هذه الطبقة من ٥ ــ ١٠ ميكرون وتعرف هذه الطبقة بالجدار الثانوى. وبذلك يفقد الجدار الخلوى مرونته ويصبح صلباً وغير مطاط. وقد يستمر التغليظ ليشمل حيزاً كبيراً

من تجويف الخلية فى بعض أنواع الخلايا. وقد توجد بعض المواد الأخرى لتدعيم الجدار الثانوى للخلايا وأهمها:

- **السوبرين: وهى المادة التى توجد مغلظة للجدار السليلوزى فى نسيج الفللين والإندودرمس مكونة لشريط كاسبرى فى الأخير.**
- **الكيوتين: مادة دهنيه يدخل فى بنائها الأحماض الدهنية والكحولات ومواد راتنجية.**
- **الشموع: وهى التى تحمى الخلية من فقد الماء.**

والبرتوبلاست هو الوحدة الحية المنسقة داخل خلية مفردة والتى تقوم بعمليات التحول الغذائى فى الخلية. والبروتوبلازم مصطلح شامل لجميع المحتويات الحية فى الخلية وهو أساس الحياة فيها. ويتكون البرتوبلازم (البرتوبلاست) من السيتوبلازم ــ النواه ــ البلاستيدات ــ الميتوكوندريا ــ الريبوزمات ــ الديكتيوسومات ــ الأجسام الكريه ــ الأنيبيبات الدقيقة ــ الليسوسومات. كما يحتوى البروتوبلاست أيضاً على مكونات غير حيه وهى من نواتج عمليات التحول الغذائى وتظهر هذه المواد أحياناً فى صورة مخزونة زائدة عن حاجة الخلية وتوجد هذه المكونات فى الفجوات العصارية أو السيتوبلازمية وهى إما صلبة أو فى حالة غروية وهى إما عضوية أو غير عضوية. ومن المكونات غير الحية الفجوات العصارية، الكربوهيدرات (النشا ــ السكريات ــ السليلوز ــ الهيميسليلوز ــ اللجنين ــ البكتين ــ الصموغ ــ المواد المخاطية)، البروتينات ، الزيوت ، الدهون ، الكيوتين ، الشمع النباتى ، اللبن النباتى ، الراتنجات ، الدباغ ، القلويدات ، البللورات المعدنية.

السليلوز كمادة أساسية فى تكوين الجدار الخلوى

السليلوز مادة كربوهيدراتية عديدة التسكر والوحدة البنائية له هو البيتاجلكوز ويتراكم الجلوكوز بطريقة خاصة لتكوين مادة السليلوز كالتالى:

- **يتجمع عدد من جزيئات الجلوكوز ١٠٠٠ ــ ٣٠٠٠ جزئ فى سلسلة طويلة لتكوين ما يعرف بالسلاسل السليلوزية.**

- § **يتجمع حوالى ١٠٠ سلسلة سليلوزية مرتبة فى صورة شبكية التركيب لتكون ما يعرف بالميسلة. والميسلة هى أصغر وحدة تركيبية للجدار الخلوى.**
- § **يتجمع حوالى ٢٠ ميسلة لتكوين اللويفات الدقيقة وقطر اللويفة حوالى ١٥ ــ ٢٥ نانوميتر.**
- § **يتجمع حوالى ٢٥٠ لويفة دقيقة فى نسيج يشبه الحبل مكونه ما يسمى لويفة كبيرة وأبعادها ٤ × ٣.٥ ميكرون وهى تمد الجدار الخلوى بالقوة الكافية.**

٢. البرتوبلازم (البرتوبلاست):

عبارة عن كتلة هلامية تتكون من مواد غروية لها صفة اللزوجة والشفافية وتعتبر مسئولة عن جميع أوجه النشاط الحيوية فى الخلية. وتحتوى هذه الكتلة على بقية المحتويات الحيه فى الخلية ويتركب البرتوبلازم من:

ــ ماء ٨٥ – ٩٠%، ــ بروتين ٧ – ١٠%
ــ دهون ١ – ٢%، ــ كربوهيدرات ١ – ١.٥%
ــ مواد غير عضوية ١ – ١.٥%

٣. الأغشية السيتوبلازمية:

الغشاء السيتوبلازمى الخارجى Ectoplast وهو مبطن للجدار الخلوى من الداخل وهو غشاء رقيق شفاف ويحيط تماماً بكتلة البروتوبلاست من الخارج ويبدى خاصية النفاذية الاختيارية. والغشاء البلازمى الداخلى Tonoplast وهو الغشاء المحيط بالفجوة العصارية ويشبه فى تركيبة وخواصه الغشاء البلازمى الخارجى.

وتركيب الغشاء الكيماوى عبارة عن بروتين وفسفوليبيدات متداخلة مع بعضها فى صورة موزايك (الموديل المبرقش السائل) إلا أن البعض يذكر أنه يتكون من طبقتين من البروتين بينهما طبقة من المواد الدهنية سمكها عبارة عن جزئيين من الفسفوليبيدات وسمك الغشاء كله يصل إلى ٥ ــ ١٥٠ انجستروم (تصور دانييلى ودافسون). والجزء البروتينى من الغشاء ينفذ الماء والمواد القطنية. بينما الجزء الدهنى من الغشاء

ينفذ المواد الغير قطبية فقط. كما يمكن الإستدلال على وجود الأغشية البلازمية وملاحظتها بإحــدى الطــرق التالية.

١ ــ الفحص الميكروسكوبى عن طريق استخدام صبغات خاصة ومشاهدة البلزمة.

٢ ــ العلاقات المائية: وذلك بملاحظة إنتفاخ الخلايا وانكماشها فى المحاليل المختلفة وهذا يشير إلــى وجود أغشية بلازمية حول السيتوبلازم غير منفذة أو قليلة النفاذية للذائبات بينما هــى منفــذة للماء.

٣ ــ النفاذية الاختيارية: حيث أن الخلية تنفذ المواد المختلفة بدرجات متفاوتة حتى شقى الملح تمتص وتنفذ داخل الغشاء البلازمى بدرجات مختلفة وهذا يشير إلى أن هناك غشاء يتحكم فــى عمليــة النفاذية.

٤ .الشبكة الإندوبلازمية Endoplasmic reticulm

عبارة عن تكوين شبكى يصل بين غشاء النواة ويمتد ليصل إلــى الجــدار الخلــوى وقــد تمتــد الشــبكة الإندوبلازمية إلى الخلايا المجاورة وبذلك تعمل الشبكة الإندوبلازمية على زيــادة مســطح الاتصــال بــين المكونات النووية وسيتوبلازم الخلية وتعمل كنظام موصل داخل الخلية وقد تمتد أشرطة الشبكة الإندوبلازمية من خلية لأخرى أى أن هناك اتصال مباشر بين أنوية الخلايا المتجاورة وذلك من خلال الشبكة الإندوبلازمية المتصلة بأغشية الأنوية. ومن الملاحظ أن التركيب الشبكى له تجويف بحيث يظهر كأنابيب وقد تنفتح هــذه الأنابيب فى بعض المواقع فتظهر كحويصلات (سسترنات) Cisternae وهى تعمل كمستودعات وقد تمتلــئ الأنابيب والحويصلات بالسوائل والبروتينات.

ومن الملاحظ أن الشبكة الإندوبلازمية يتباين مظهرها الخارجى من حيث الملمس من منطقة لأخرى ويبــدو انه يوجد نوعان رئيسيان هما:

أ ـ الشبكة الاندوبلازمية الخشنة Rough endoplasmic reticulum

يبدو هذا الجزء من الشبكة نتيجة لالتصاق الريبوسومات به وبذلك يصبح لهذه المنطقة نشاط ملحوظ فى بناء البروتين والذى يتم تخزينه وانتقاله عبر تجويف الشبكة الإندوبلازمية. (التجويف الحويصلى للشبكة الاندوبلازمية) إلى أجهزة جولجى المصاحبة لها.

ب ـ الشبكة الاندوبلازمية الملساء Smooth endoplasmic reticulum

وهى ناعمة الملمس وتلعب دورا أساسياً فى تمثيل وتجميع الجليكوليبيدات وهى مركبات عبارة كحولات وأحماض دهنيه وكربوهيدات.

٥ـ أجهزة جولجى Golgi apparatus

تبدو أجسام جولجى (قد تسمى دكتوزومات) عبارة عن عدة أغشية مرتبطة ببعضها ومفلطحة وهى وعائية أيضا ومرتبطة بالعديد من الحويصلات الكرية. تتشابه أغشية أجسام جولجى إلى حد كبير مع الشبكة الإندوبلازمية وفى بعض الأحيان قد يمتزج كل منهما بالآخر. ولأجسام جولجى دور مهم فى بناء الصفيحة الوسطى بحيث تحتوى الحويصلات المكونة لأجسام جولجى على مولدات٩ للمواد التى تشترك فى بناء الجدار الخلوى مثل (عديدات التسكر ــ البروتينات ــ مركبات كيماوية أخرى) تتراكم فى الأوعية ثم تنتقل عند تمام الإنقسام الميتوزى إلى الصفيحة الخلوية. وتنشأ صفائح أجهزة جولجى من حويصلات دقيقة تنفصل عن أجزاء من الشبكة الإندوبلازمية.

٦ـ الميتوكوندريا Mitochondria

وهى جسيمات حيه منتشرة فى سيتوبلازم الخلايا الحية ولها تركيب خاص وتتركب من أغشية مزدوجة تتكون من مواد بروتينية ودهنية. ويمتاز تركيبها بوجود صفائح داخلية عرضية عبارة عن إمتدادات للغشاء الداخلى Cristae. وتأخذ الميتوكوندريا أشكال متعددة فهى أسطوانية أو بيضاوية أو كروية ويصل قطرها ٣ – ٤ ميكرون وتلعب دوراً كبيراً فى عملية التنفس وإنطلاق الطاقة كما تحتوى الميتوكوندريا على:

١ ــ الفسفوليبيدات   ٢ ــ الأحماض النووية DNA & RNA

٣ ــ السيتوكرومات. ٤ ــ إنزيمات دورة كربس. ٥ ــ مكونات نظام نقل الإلكترونات.

وتختص الميتكوندريا بإنتاج الطاقة المستخدمة فى الخلية ولذلك عندما تكون الخلية نشطة فإن الميتوكوندريا تكون كثيرة وكثيفة ويتضح ذلك فى الخلايا المرستيمية. عندما تتحلل الدهون والكربوهيدرات فى السيتوبلازم فإن المنتجات الناتجة تتأكسد مع تحرر CO_2 والماء والطاقة. ففى الميتوكوندريا يتم تخزين الطاقة المنفردة فى صورة روابط فوسفاتية غنية بالطاقة. وأكثر المركبات أهمية فى هذا الشأن هو الأدينوزين ثلاثى الفوسفات ATP ويمكن إستخدام هذه الطاقة بكل سهولة عند الحاجة إليها فى التفاعلات الحيوية بالخلية.

والملاحظ من تركيب الميتوكوندريا أن التركيب الغشائى له دور هام جداً فى تخليق وإنتاج جزيئات الطاقة ATP من خلال عملية الفسفرة التأكسدية Oxidative phosphorylation حيث تتم خطوات هذه الفسفرة على الزوائد المقبضية الموجودة على الحواجز العرضية Cristae والممتدة من الغشاء الداخلى. ويمكن الإشارة بإختصار شديد إلى خطوات تلك الفسفرة التأكسدية فيما يلى:

NAD pH_2 ⟶ FAD H_2 ⟶ Quinone ⟶ Cytb ⟶ Cytc ⟶ Cy+f ⟶ O_2 ⟶ H_2O

ADP → ATP   ADP → ATP   ADP → ATP

ومن المعروف أيضاً أن الميتوكوندريا لها القدرة على الإنقسام والنمو دون الإعتماد على النواه وذلك لإحتوائها على DNA & RNA الخاص بها.

٧.البلاستيدات Plastids

وهى جسيمات حيه فى الخلايا وخاصة الأنسجة الكلورانشيمية وهى ذات وظائف معينة وتأخذ العديد من الأشكال وهى مزدوجة الغشاء ومن أنواعها:

١ ــ البلاستيدات الأولية. ٢ ــ البلاستيدات عديمة اللون.

٣ ــ البلاستيدات الملونة. ٤ ــ البلاستيدات الخضراء.

- **البلاستيدات الأولية Proplastids ويمكنها تكوين أى نوع من البلاستيدات الأخرى.**

- **البلاستيدات عديمة اللون Leucoplasts: وتوجد فى أماكن التخزين (أعضاء التخزين) المختلفة فى النبات حيث تخزن المواد النشوية أو البروتينات أو الزيوت وفى هذه الحالة تسمى بالبلاستيدات النشوية أو البروتينية أو الزيتية.**
- **البلاستيدات الملونة Chromoplasts: وهى تحتوى على صبغات ملونة مثل الكاروتينويد (الكاروتين أو الزانثوفيل) وهى لا تستطيع القيام بعملية البناء الضوئى وهى مسئولة عن تلوين الثمار مثل الطماطم والتفاح أو الجذور كما فى الجذر أو الأزهار.**
- **البلاستيدات الخضراء Chloroplasts: وهى المسئولة عن عملية البناء الضوئى وسوف نتناولها بالتفصيل. كما يمكن تحويل بعض الأنواع من البلاستيدات إلى النوع الآخر فمثلاً:**

ــ البلاستيدات عديمة اللون كما فى درنات البطاطس تتحول إلى خضراء عند تعرضها للضوء.

ــ البلاستيدات الخضراء تتحول إلى ملونة كما فى ثمار الطماطم حيث يتكسر وينهدم الكلوروفيل ويتراكم الكاروتين (الليكوبين) بها مما يعطيها اللون الأحمر.

والبلاستيدات الخضراء أكثر أنواع البلاستيدات أهمية نظراً لأنها تعضد الحياه كلها وذلك لوظيفتها فى تجميع الطاقة الضوئية إلى طاقة كيماوية من خلال عملية البناء الضوئى. وتحاط البلاستيدات الخضراء بغشاء مزدوج وتحتوى على نوعين من الصفائح.

ــ صفائح الجرانا Granum thylakoids وتحتوى على صبغات البناء الضوئى مثل الكلوروفيللات والكاروتينويدات ويتم بالجرانا تفاعل الضوء والهدف منه إنتاج الطاقة فى صورة جزيئات NAD pH_2 ATP & واللازمة لإختزال CO_2 من خلال تفاعل الظلام.

ــ صفائح الأستروما Stroma thylakoids وهى صفائح رقيقة تحتوى على إنزيمات تفاعل الظلام ويتم بها إختزال CO_2 إلى سكريات.

٨ .الفجوات Vacuoles

توجد الفجوات منتشرة فى السيتوبلازم وهى صغيرة الحجم وخاصة الخلايا المرستيمية. أمــا فــى الخلايــا البالغة فإنها تحتوى على فجوة واحدة فى الغالب وتمثل الفجوة فى هذه الحالــة ٩٠% مــن الحجــم الكلــى للخلية.

تحاط الفجوة بغشاء فردى ويعرف بإسم التونوبلاست Tonoplast أى الغشاء الفجــوى أو الــداخلى وهــو إختيارى النفاذية. وتحتوى الفجوة بداخلها ما يسمى بالعصير الخلوى الذى يقوم بعدة وظائف منها:

١ ــ الحفاظ على ضغط الإمتلاء حيث يحتوى العصير الخلوى على السكريات ــ الأحماض العضوية ــ الدهون ــ الأملاح المعدنية والصبغات مثل الأنثوسيانين والكلوريدات وكلها تزيــد مــن الضــغط الإسموزى الذى يحافظ على ضغط الإمتلاء.

٢ ــ تخزين المواد الأساسية اللازمة للنشاط الخلوى.

٣ ــ يتراكم بها المركبات الدفاعية الخلوية والمواد الســامة والبللــورات المعدنيــة مثــل أوكســالات الكالسيوم.

٩ . الجليوكسيزومات والبيروكسيزومات والأسفيروزومات Glyoxysomes, Peroxysomes, Spherasomes:

يطلق على هذه الجسيمات لفظ الأجسام الدقيقة أو الكروية حيث لا يزيد قطر أى منها عن ٢ نانوميتر وتحاط بغشاء فردى ولا يوجد بداخلها تراكيب غشائية ولكنها تحتوى على كمية هائلة من البروتين والدهون.

- **الجليوكسيزومات: توجد فى أنسجة البذور الزيتية حيث يتحول الدهن إلى كربوهيدرات من خــلال دورة جليوكسيلات وتحتوى على الإنزيمات اللازمة لأكسدة بيتا للأحماض الدهنيــة حتــى تكــوين المرافق الإنزيمى Acetyl-Co A.**
- **البيروكسيزومات: وهى الجسيمات التى تقوم بوظيفة أيــض الجليكــولات Glycolate المنتجــة بواسطة البلاستيدات الخضراء وخلال التمثيل الضوئى وهى المسئولة عن عملية التنفس الضــوئى المميزة للنباتات ثلاثية الكربون.**

وتوجد تلك الأجسام الكروية (الجليوكسيزومات & البيروكسيزومات & الأسفيروزومات) بكثرة فى سيتوبلازم خلايا الأنسجة التى تقوم بتخزين الدهون مثل إندوسبرم الخروع وفلقات عباد الشمس والفول السوداني أو فى طبقة الأليرون فى إندوسبرم حبوب الغلال ويتم إستهلاك الدهون التى تم تخزينها فى تلك الجسيمات الكروية خلال مراحل تكوين البادرة عند الإنبات حيث تحتوى فى تلك الفترة على إنزيم الليبيز Lipase ويعتقد العلماء أن هذه الجسيمات تنشأ من أجزاء دقيقة تنفصل عن الشبكة الإندوبلازمية.

١٠. الأنيبيبات الدقيقة Microtubules

وهى عبارة عن عضيات أسطوانية طولها حوالى بضعة ميكرونات وقطر قناتها ١٢٠ أنجستروم وتوجد هذه الأنابيب الدقيقة فى سيتوبلازم الخلية كما يتألف منها المغزل النووى Nuclear spindle فى عملية الإنقسام الخلوى غير المباشر. وتتكون هذه الأنابيب فى مكان الإحتياج إليها فى الخلية ولا تنتقل إلى مكان آخر وتختفى بعد إنتهاء الغرض منها. ويرجع أن لها دور بتنظيم وضع لويقات السليلوز الجديدة فى جدر الخلية كما أنها توجه إلى الغشاء البلازمى للمناطق التى يبنى فيها جدار الخلية.

١١. الليسوسومات Lysozomes

جسيمات كروية دقيقة منتشرة فى السيتوبلازم تقوم بتجميع الإنزيمات الهاضمة من الخلية بداخلها لتحمى الخلية من الهضم الذاتى. وعند موت الخلية تتجزأ هذه الأجسام وتتحرر الإنزيمات الهاضمة وتتحلل الخلية.

المكونات غير الحية

ويطلق عليها أيضاً المكونات غير البرتوبلازمية وهى نواتج لعمليات التحول الغذائى وأحياناً تمثل هذه المكونات مواد مخزونة زائدة عن حاجة الخلية. وتوجد هذه المكونات فى الفجوات العصارية أو السيتوبلازم وهى إما ذائبة أو صلبة أو فى حالة غروية وهى إما عضوية أو غير عضوية ومن أمثلتها:

أولاً: الكربوهيدرات Carbohydrates

١ ــ السكريات Sugars

- **يوجد سكر الجلكوز والفراكتوز فى جميع الخلايا تقريباً حيث أنها السكريات الأساسية المستخدمة كمادة للتنفس.**

- **السكروز هو المادة الأساسية المخزنة فى سيقان قصب السكر وجذور نبات بنجر السكر.**
- **الفراكتوز (سكر الفاكهة) المادة الأساسية المخزنة فى ثمار الفواكه وقد يتجمع الفركتوز فـــى صـــورة سلاسل معقدة لتكوين مركب الأينولين والذى يوجد بصورة مخزونة فى جذور وريزومات نبات الـــداليا ــ الطرطوفة ــ الخرشوف.**

٢ ــ النشا Starch

- **توجد فى صورة حبيبات مخزونة فى أعضاء التخزين مثل درنات البطاطس وجذور البطاطا وكورمـــات القلقاس وحبوب الغلال. وتتنوع حبيبات النشا من بسيطة إلى نصف مركبة إلى مركبة.**

٣ ــ السليلوز Cellulose سبق الحديث عنه فى تركيب الجدار الخلوى.

٤ ــ الهيميسليلوز Hemicellulose

وهى مواد توجد مرتبطة بالسليلوز وتوجد مخزونة فى إندوسبرم بعض البذور كغذاء مخـــزن. كمـــا يوجـــد بالجدر الخلوية للأنسجة الخشبية مثل أشجار التفاح.

٥ ــ اللجنين Legnin

مادة كربوهيدراتية تبنى فى سيتوبلازم الخلية ويتم إتحادها فى جدار الخلية لتكوين الجدار الثانوى للخلية.

٦ ــ المواد البكتينية Pectic compounds

مثل حمض البكتيك والبكتين والبروتوبكتين. وقد ترتبط بالسليلوز لتكوين الجدار الإبتدائى كمـــا قـــد تـــرتبط أحياناً باللجنين.

٧ ــ الصموغ Gums

هى مواد كربوهيدراتية معقدة يتم إنتاجها فى النباتات لظروف مرضية ينتج عنها تحطم جدران ومحتويـــات الخلايا. والصمغ العربى أهم تلك الأنواع.

٨ ــ المواد المخاطية Mucilage

مركبات كربوهيدراتية معقدة مثل الصموغ وتمثل المواد المخاطية ناتجاً عاديا لنشاط الخليـــة وقـــد تتكـــون بكميات كبيرة تؤدى إلى إمتلاء الخلية بها. ومن أمثلة المواد المخاطية تلك التى توجـــد فـــى قلـــف شـــجرة الدردار Ulmus وكذلك فى غلاف بذرة الكتان Linum والأنسجة الخازنة للماء فى النباتـــات الصـــحراوية مثل الصبار.

ثانياً : البروتينات Proteins

البروتينات هى المكون الأساسى للبروتوبلازم أما البروتينات المخزونة فهى قد توجد ذائبة فى العصير الخلوى أو فى حالة صلبة (أليرون) فى إندوسبرم البذور الغنية بالزيت مثل الخروع. وحبيبات الأليرون قد تكون معقدة (بللورية) كما فى أليرون الخروع أو أليرون بسيط غير متبللور كما فى أليرون القمح.

ثالثاً: الدهون Oils and Fats

يخزن الزيت فى إندوسبرم بعض البذور مثل الخروع والكتان أو فى الجنين مثل القطن والخروع وفول الصويا وقد يخزن فى لحم الثمرة مثل الزيتون وقد تخزن فى بعض البذور مثل بذور الكاكاو *Theobroma cacao* وجوز الهند *Cocos mucitera* والغلاف اللحمى لثمار نخيل الزيت *Elaeis guinneensis*. (مع ملاحظة أن الزيوت سائلة بينما الدهون تكون جامدة فى درجة الحرارة العادية. وقد توجد أنواع أخرى من الزيوت والتى تعرف بالطيارة *Volatoile oils* والتى تعرف برائحتها الطيارة وتخزن فى بتلات بعض الأزهار مثل الورد Rosa sp. أو الثمار مثل الينسون *Pimpinellan anisum* أو الريزمات مثل الزنجبيل *Zingiber officinale*a أو فى الخشب مثل شجر الصندل *Santaium album* أو القلف مثل القرفة *Cinamomum* أو الأوراق مثل النعناع *Mentha* sp أو الكافور *Eucalyptus*.

يمثل الكيوتين والسوبرين مواد شبيهة بالدهون إلا أن الكيوتين مركب مادة شبه محبه للماء وتغطى السطح الخارجى للأوراق وهى تسمح بنفاذ المواد المرشوشة إلى داخل خلايا النبات بينما السوبرين مادة شبه دهنيه لا تسمح بنفاذ الماء ومن أمثلتها شريط كاسبرى والمادة المغلظة لخلايا الفلين.

أما الشمع النباتى فهو مادة دهنيه أيضاً ولكنها أكثر صلابة وتترتب على سطوح الأوراق والسيقان أو الثمار.

رابعاً: اللبن النباتى Latex

وهو يوجد فى تراكيب خاصة تسمى الغدد والقنوات اللبنية (التراكيب اللبنية Laticifers) وبصفة عامة يحتوى اللبن النباتى على مواد سكرية ــ حبيبات نشا ــ زيوت ــ قلويدات ــ بروتينات ــ راتنجات ــ

كاوتشوك ــ صموغ ــ إنزيمات. ويستخدم اللبن النباتى فى الحصول على العديد من الصناعات ويتوقف ذلك على نوع اللبن النباتى والشجرة المستخدمة ومن أمثلة تلك المواد:

- **المطاط**: **ويستخرج من بعض الأشجار مثل شجرة مطاط بنما *Castelia elastica*.**
- **المورفين**: **ويستخرج من ثمار الخشخاش *Papaver somniferum*.**
- **إنزيم البابين**: **ويستخرج من ثمار الباباظ *Carica papaya*.**
- **عقار Lactocarium**: **ويستخرج من الخس.**

خامساً: الراتنجات Resins

مواد معقدة التركيب وهى شبه صلبه ولا تذوب فى الماء ولكنها تذوب بدرجات مختلفة فى الكحول ــ الإيثير ــ الكلوروفورم. ومن أهم الراتنجات الطبيعية المصطكى Masic ويحصل عليه من شجرة المصطكى *Pistacio lentiscus* واللبان الدكر Frankinsense ويحصل عليه من شجرة اللبان الدكر *Boswellia carterii*. وهو يتكون من خلال خلايا إفرازية أو غدد أو قنوات كما فى ريزومات الزنجبيل أو القرنفل العطرى أو ثمار العائلة الخيمية. وقد تتكون الراتنجات نتيجة لجروح تحدث بالنبات حيث تتراكم مكونة طبقة واقية.

سادساً: الدباغ Tannins

وهى مواد معقدة التركيب تكثر فى وجود النسيج المتوسط لأوراق نبات الشاى Camellia وقلق شجرة البلوط *Guercus suber*. كما توجد الدباغ بصفة عامة فى كافة أنواع الخلايا وجدر الخلايا والعصير الخلوى والسيتوبلازم ويختلف نسبة وجود هذه المادة بإختلاف نوع النبات. وتعمل الدباغ على تجانس السيتوبلازم ووقاية النبات من تطفل الحيوانات كما تساعد على التأم جروح النبات.

كما يستفاد من الدباغ تجارياً فى بعض الصناعات مثل صناعة دبغ الجلود حيث تتفاعل مع جيلاتين جلود الحيوان لتكوين مادة قوية متماسكة. كما يستفاد منها فى صناعة حبر الكتابة حيث تتفاعل الدباغ مع أملاح الحديد لتكوين الحبر الأسود.

سابعاً: القلويدات Alkaloids

وهى مركبات ذات تأثير سام وتمثل أهمية قصوى فى مجال الأدوية والنـــواحى الطبيـــة وأســـاس تركيبهـــا النتروجين. ومن أمثلة القلويدات المعروفة:

- **الكينين Quinine: ويستخرج من شجرة الكينا Cinchona.**
- **ستريكنين Strychinine ويستخرج من بذور شجرة الجوز المضيء *Strychnosnux sp*.**
- **المورفين Morphine ويستخرج من ثمار الخشخاش *Papaver* sp.**
- **الكافيين ويستخرج من بذور البن *Coffea Arabica*.**
- **البابين Papin ويستخرج من ثمار نبات الباباظ *Carica papaya*.**

ثامناً: البللورات Crystals

تتركب معظم البللورات من مواد غير عضوية وأكثرها شيوعاً أملاح الكالسيوم مثل أوكســالات أو كربونـــات الكالسيوم، كما توجد بللورات من السيليكا فى أوراق النجيليات وعموماً تتكون البللورات كمادة ثانوية ناتجة من عمليات التحول الغذائى لبعض المواد وهذه المواد غير مرغوب فيها ولو تراكمت لأصبحت سامة للنبات، لذا يلجأ إلى ترسيبها نتيجة تفاعل تلك المواد مع بعض العناصر أو الأملاح فى صورة بللورات يتم تخزينهـــا وتجميعها فى خلايا خاصة وبذلك تتحول المواد السامة إلى مواد غير سامة فى صورة بللورات.

١ ــ بللورات أكسالات الكالسيوم

البللورات الإبرية Acicula & Raphide بللورات إبرية وتوجد منتثرة أو فى صورة حزم فى خلايا بعــض النباتات مثل الدراسينا ، الحميض ، جذور الأسيرجس.

البللورات المنشورية Prismatic: توجد فى خلايا نبات الاتل Tamarix أو بشرة قواعد الأوراق المخزنة للبصل.

البللورات النجمية Rosette & Droses تكثر هذه البللورات فى ساق العنب ، التين الشوكى ، أوراق الدفلة ، الكافور ، عنق ورقة الخروع.

٢ ــ بللورات كربونات الكالسيوم

من أشهر تلك البللورات الحويصلة الحجرية Cystolith وتوجد فى البشرة المتضاعفة لنبات التين المطاط.

الحالة الغروية وخواص البروتوبلازم

تنقسم المحاليل عموماً إلى ثلاثة أنواع وذلك بالنسبة للمواد المنتشرة فيها:

* المحاليل الحقيقية True solutions

وفيها تكون المادة المنتشرة متجزئة إلى مستوى الجزيئات أو الأيونات ويبلغ حجم الجزيئات هذه الدرجة من الصغر حيث لا يمكن رؤيتها بأى وسيلة من وسائل الإبصار المعروفة ويمكن التحقق من وجودها فقط بالكشف عن خواصها الطبيعية والكيماوية ويبلغ قطر معظمها إلى ١/ مليون من المليمتر أى ١ ملليميكرون أو أصغر من ذلك. وهذه الجزيئات تظل منتشرة فى المحلول بصورة متجانسة بين جزيئات المذيب (الطور الناثر) وتكسب المذيب صفات مميزة. ومن أمثلتها محلول سكر القصب أو محلول كلوريد الصوديوم والأخير تتأين جزيئاته إلى دقائق أصغر هى الأيونات. وتجدر الإشارة هنا إلى دقائق أصغر هى الأيونات. وتجدر الإشارة هنا إلى أن المادة المذابة قد تكون مادة صلبة (وهى التى تهمنا فى هذا المجال) أو سائلة أو غازية.

* المعلقات Suspensions

ويطلق هذا اللفظ على الأنظمة التى تكون فيها المادة المنتشرة صلبة والمادة الناثرة (ماء) وفى هذا النظام لا تتأثر المادة بالسائل الموجود فيه مثل وضع الرمل فى الماء أو يحدث أن تتجزأ المادة ولكن وحدات التجزؤ هنا تكون عبارة عن تجمعات كبيرة جداً من الجزيئات وتعرف بأنها دقائق المادة المنتشرة. ونظراً لكبر حجم هذه الدقائق فإنها لا تلبث أن ترسب وتنفصل عن السائل الموجود فيه وهذه الدقائق يمكن رؤيتها بفحصها ميكروسكوبيا أو بالعين المجردة ويقدر قطرها بأكثر من ١٠٠ ملليميكرون، وإذا كانت المادة المنتشرة سائلة ينتج نظام يسمى بالمستحلب المؤقت Emulsion.

* المحاليل الغروية Colloidal solution

وفى هذا النظام من المحاليل تتجزأ المادة المنتشرة إلى دقائق أو حبيبات غاية فى الصغر كل منها تتكون من المئات وأحياناً الآلاف من الجزيئات ويقع حجم هذه الدقائق وسطاً بين حجم دقائق المحاليل الحقيقية

والمعلقات أى أقل من ١٠٠ ملليميكرون. وأكثر من ١ ملليميكرون (وفى بعض المراجع يتــراوح بــين ١ ــ ٢٠٠ ملليميكرون).

وعلى ذلك فإن خواص هذا النوع من المحاليل يكون وسطاً بين خواص المحاليل الحقيقية والمعلقات أى أنها تكون تجمعات أكبر من الجزيء الواحد فى صورة دقائق وهذه الدقائق أصغر من دقائق المعلقات بدرجــة لا تسمح برسوبها ولذا تظل منتشرة فى السائل الموجود فيه وتسمى السائل وســط الإنتشــار والمــادة الصــلبة (الغروية فى هذه الحالة) تسمى المادة المنتشــرة Dispersion medium & Dispersel phase إلا أنــه يمكن مشاهدة خواصها الضوئية ومشاهدتها فى الحركة البراونية.

والمادة المنتشرة فى المحاليل الغروية قد تكون:

- **سائلة**: وتسمى محاليلها مستحلب دائم مثل مستحلب الزيت فى الكحول (بعد الرج).
- **صلبة: وتسمى محاليلها غروية مثل محلول غروى الكبريت ويحضر بإضافة محلول الكبريــت فــى الكحول إلى كمية كبيرة من الماء.**
- **ونظراً لأن البرتوبلازم مادة غروية فسوف نتكلم عنها بشيء من التفصيل فيما بعد.**

تحضير الغرويات:

من الناحية النظرية هناك طريقتين للوصول بحجم دقائق المادة إلى المستوى الغروى.

ــ طريقة التجمع وهى تجميع الجزيئات فى وحدات أكبر إلى أن تصل إلى مستوى دقائق الغرويات وتســمى هذه الطريقة بالتكثيف Condensation ومثلها صب محلول كلوريد الحديديك فى ماء مغلى.

ــ الطريقة الثانية وهى تكسير الدقائق الكبيرة إلى دقائق أصغر تقع فى مســتوى حجــم دقــائق الغرويــات وتسمى هذه الطريقة بطريقة التجزئة Dispersion ومثلها إضافة الكحول إلى مستحلب الزيــت والمــاء لتكوين مستحلب دائم وكذلك طحن الدقائق الكبيرة بواسطة أجهزة خاصة أو إستخدام الإنزيمات.

خواص الغرويات:

للمحاليل الغروية ميزه هامة جداً وخاصة فيما يتعلق بدراسة البرتوبلازم والأنظمة الحيوية ونذكر أهم الخواص فيما يلى:

١ ـ الغرويات المحبة والكارهة لوسط الإنتثار:

المحاليل الغروية عادة إحدى نوعين بالنسبة لدرجة تجاذب دقائقها الغروية مع وسط الإنتثار وهى:

أ ــ محبة لوسط الإنتثار Lyophobic colloids أى دقائقها الغروية تحيط نفسها بأغلفة (أغشية) من وسط الإنتثار. وإذا كان وسط الإنتثار هو الماء تسمى Hydrophilic colloids مثل محلول الجيلاتين الغروى وزلال البيض والبروتوبلازم ولترسيب المحلول الغروى فى هذه الحالة لابد من إزلة الغلاف المائى أولاً قبل معادلة الشحنات كما سيأتى فيما بعد.

ب ــ كارهة لوسط الإنتثار Lyophobic colloids أى أن دقائقها لا تحتفظ بأغشية مثل وسط الإنتثار حولها وإذ كان وسط الإنتثار هو الماء تسمى Hydrophobic مثل محلول أيدروكسيد الحديديك الغروى.

٢ ـ الشحنات الكهربائية للدقائق الغروية:

من خواص الغرويات أن دقائقها تحتفظ حولها بشحنات كهربائية من نوع واحد وهذه الشحنات قد تكون موجبة (كما فى حالة محلول أيدروكسيد الحديديك الغروى) أو سالبة (كما فى محلول الجيلاتين الغروى وأحمر الكونجو والبروتوبلازم الخلوى) ووجود هذه الشحنات من نوع واحد حول كل دقيقة غروية يعمل على تنافر هذه الدقائق من بعضها وهذا يعمل على عدم تجمعها وترسيبها. ولو تمكنا من معادلة هذه الشحنات بأى وسيلة فإن النظام الغروى لا يلبث أن يرسب حيث تتجمع الدقائق الصغيرة فى دقائق أكبر فأكبر كما يحدث فى حالة إضافة محلول مخفف من كبريتات الأمونيوم إلى محلول أيدروكسيد الحديديك الغروى. وكلما زاد تكافؤ الأيون المستخدم فى الترسيب أى زادت الشحنات المضادة عليه كلما زادت كفاءته فى الترسيب بالنسبة للنظام الغروى.

أمثلة: يرسب محلول غروى من كبريتور الزرنيخ أو الطين الغروى بواسطة كاتيون الصوديوم والكالسيوم والألمونيوم وتكون كفاءة الترسيب قليلة فى الحالة الأولى وتتزايد تدريجياً حسب الترتيب السابق (ص+ كا++ لو+++). Na^{+} . Ca^{++} . Al^{+3} .

ولترسيب المحاليل الغروية المحبة لوسط الإنتشار (مثل الجبلاتين) تواجهنا عمليتين:

أولاً: نزع الغلاف المائى الموجود حول الدقائق.

ثانياً: معادلة الشحنات الكهربائية:

ويتم ذلك عادة بإضافة كميات كبيرة من ملح صلب مثل كبريتات الأمونيوم التى تعمل على نزع الغلاف المائى ومعادلة الشحنات فى نفس الوقت.

٣ ـ إنعكاس الأطوار:

تتميز المحاليل الغروية المحبة لوسط الإنتشار كما سبق القول بأنها تحتفظ بأغلفة من وسط الإنتشار حولها ويتوقف سمك هذه الأغلفة على درجة حرارة المحلول فالتبريد يزيد من سمك هذه الأغلفة المائية.

والغلاف المائى عبارة عن كمية من الماء المرتبط المحيط بالدقيقة الغروية. وبإنخفاض درجة حرارة المحلول إلى حد يتحول معه جميع الماء الحر إلى ماء مرتبط تصل إلى حالة صلبة يتصلب عندها جميع المحلول وهذه الحالة تسمى **Gel**. وإذا أعيد تدفئة المحلول مرة أخرى يتحول ثانية إلى حالة السيولة **Sol** نتيجة لنقص حجم الأغلفة المائية وتحول كمية كبيرة من الماء من الحالة المرتبطة إلى الحالة الحرة. وهذه الظاهرة تسمى إنعكاس الأطوار (وأحياناً إنعكاس الأطوار الكامل).

٤ ـ النفاذية:

المحاليل الغروية لا تنفذ دقائقها الغروية خلال الأغشية الشبه منفذه مثل أغشية السيلوفان والكلوديون وغيرها بينما بعض المحاليل الحيقية يمكن لدقائقها النفاذية خلال مثل هذه الأغشية وتسمى تلك الظاهرة "الفصل الغشائى **Dialysis**.

٥. ظاهرة تندال Tendall phenomenon

عند إمرار شعاع ضوئى خلال محلول حقيقى فإنه لا يمكن رؤية مسار الشعاع الضوئى فى المحلول، أما فى المحاليل الغروية فإنه يمكن رؤية مسار الشعاع خلال المحلول وذلك نتيجة إنعكاس الأشعة على أسطح الدقائق الغروية (أكبر حجماً من جزيئات وأيونات المحلول الحقيقى) بدرجة تسمح بتمييزها بالعين المجردة.

٦. الحركة البراونية Brownian movement

عند فحص المحاليل الغروية بواسطة الألترا ميكروسكوب يمكن مشاهدة حركة دقائق المحاليل الغروية حركة اهتزازية ترددية غير مقصودة تسمى الحركة البروانية نسبة إلى مكتشفها ومصدر هذه الحركة هو الطاقة الذاتية فى الجزيئات.

٧. التجمع السطحى Adsorption

عند تفتيت أى مادة إلى وحدات متناهية فى الصغر يزداد مجموع مساحات أسطح دقائقها الناتجة بالنسبة لوحدة الوزن المأخوذة من هذه المادة حتى تصل هذه الزيادة إلى حد معين تكتسب عنده أسطح هذه الدقائق شحنات كهربائية من نوع واحد وكذلك تكتسب خاصية جذب مواد أخرى على أسطح هذه الدقائق وتسمى الحالة الأخيرة بالإدمصاص أو التجمع السطحى وبما أن المحاليل الغروية تصل فيها أقطار الدقائق الغروية إلى حد تكوين شحنات كهربائية من نوع واحد على أسطحها لذا فهى تبدى خاصية التجمع السطحى.

مثال: عند إضافة أزرق الميثلين إلى الطين الغروى والترشيح يصبح الراشح شفافاً لإدمصاص أزرق الميثلين (+) على أسطح الطين الغروى (-) وعند إضافة قليل من الكحول على ورقة الترشيح يعود اللون مرة أخرى.

٨. اللزوجة

تعرف اللزوجة بأنها مقاومة المادة للإنسياب. فمثلاً الجلسرين أكثر مقاومة للإنسياب من الماء ولذلك فهو أكثر لزوجة. والمحاليل الغروية المحبة لوسط الإنتثار عادة تكون لزوجتها عالية بعكس الغرويات الكارهة لوسط الإنتثار ويعزى ذلك إلى وجود كمية من الماء فى صورة مرتبطة مكونة أغلفة مائية حول الدقائق الغروية. وتتأثر اللزوجة بدرجة الحرارة. فعند إرتفاع الحرارة تنقص اللزوجة والعكس صحيح.

٩ـ الخواص الإمفوتيرية:

لمحاليل البروتينات الغروية فى البرتوبلازم خواص أمفوتيرية أى أنها تسلك سلوك القواعد أو الأحماض حسب درجة تركيز أيون الأيدوجين للوسط الموجود فيه وذلك يعزى إلى وجود مجاميع (NH_2) القاعدية جنباً إلى جنب مع مجاميع (COOH) الحامضية.

خواص البروتوبلازم:

يعتبر البرتوبلازم نظام غروى معقد يشمل الغرويات المحبة لوسط الإنتثار والكارهة له والمستحلب الدائم والمؤقت. إلا أن الغرويات المحبة لوسط الإنتثار Hydrophilic colloids هى الغالبة فى هذا النظام.

ولذلك فإن البرتوبلازم الخلوى يتميز بأنه يبدى جميع الخواص العامة للمحاليل الغروية والتى سبق ذكرها.

وتتغير الشحنات الكهربائية على دقائق البرتوبلازم "كبقية الغرويات" بإضافة أحماض أو قلويات أى بتغير رقم الحموضة فى المحلول (الخواص الإمفتورية) وعند تركيز معين لأيونات الأيدروجين (أى رقم pH معين) تتعادل الشحنات على الدقيقة الغروية وتصبح متعادلة وهذه الدرجة من رقم الحموضة (pH) تسمى نقطة التعادل الكهربائية Isoelectric point (pi) وعندما يحدث ذلك فإن الدقائق الغروية تكون فى أقل درجات الثبات ولا تلبث أن تترسب نتيجة تجميعها مع بعضها.

الإنتشار Diffusion

إذا ما وضعت زجاجة تحتوى على سائل طيار مثل البارفان أو الكولونيا داخل غرفة. فبعد وقت قصير يمكن ملاحظة هذه الرائحة المميزة فى كل جوانب الغرفة. وبالمثل إذا وضعت بلورة من كبريتات النحاس فى قاع كأس به ماء يلاحظ إنتشار لون البلورة تدريجياً إلى أعلا إلى أن يتم تجانس اللون فى ماء الكأس. يدل ذلك على أن دقائق المادة يتم توزيعها توزيعاً منتظماً بواسطة عملية الإنتشار. ويعزى هذا التوزيع إلى أن دقائق المادة (جزيئات أو وأيونات) تكون فى حركة مستمرة عشوائية فى أى درجة حرارة أعلا من درجة الصفر المطلق. ويمكن أن يعرف الإنتشار بأنه إنتقال دقائق المادة من نقطة تركيزها فيها مرتفع إلى نقطة أخرى تركيز نفس الدقائق بها يكون منخفضاً. أو هو الحركة التى تبديها جزيئات المادة بفضل طاقتها الحركية لكى تتوزع توزيعاً منتظماً فى الحيز الذى تشغله.

وتتوقف مقدرة المواد على الإنتشار وكذلك إتجاه الإنتشار على تركيز المواد وإختلاف ضغط الإنتشار ويكون ذلك بإستقلال تام عن ضغط إنتشار المواد الأخرى المحيطة بمعنى أنه فى المثال السابق تنتشر دقائق كبريتات النحاس المائية إلى أعلا فى حين تنتشر جزيئات الماء من أعلى إلى أسفل.

وعملية الإنتشار ترتبط إرتباطاً وثيقاً بتبادل المواد بين الخلية وما يجاورها من خلايا وكذلك بينها وبين البيئة المحيطة وتبادل الغازات من الورقة والجو الخارجى ودخول الماء والأملاح الذائبة فى الجذر وإنتقال المواد داخل النبات.

العوامل التى تؤثر على معدل الإنتشار:

١ ــ كثافة الجزيئات المنتشرة: حيث يتناسب معدل الإنتشار عكسياً مع الجذر التربيعى للكثافة النسبية للمادة المنتشرة أى أن:

$$\frac{\text{معدل إنتشار النتروجين}}{\text{معدل إنتشار الأوكسجين}} = \sqrt{\frac{١٦}{١}} = \frac{٤}{١}$$

أى يزيد معدل الإنتشار كلما قلت الكثافة النسبية.

٢ ــ درجة الحرارة: حيث يزداد معدل الإنتشار بزيادة الحرارة نتيجة للزيادة فى الطاقة الحركية للدقائق.

٣ ــ فرق ضغط الإنتشار: حيث يتناسب معدل الإنتشار طردياً مع الفرق فى تركيز المادة المنتشرة بـين منطقتين وفى نفس الوقت يتناسب عكسياً مع المسافة بين المنطقتين.

٤ ــ تركيز وسط الإنتشار: حيث يتناسب معدل الإنتشار مع تركيز الوسط الذى يتم فيه الإنتشار.

٥ ــ حجم وكتلة الدقائق: يتناسب معدل الإنتشار عكسياً مع حجم الدقائق وإذا تساوت الدقائق فى الحجم واختلفت فى الكتلة يتناسب المعدل عكسياً مع وزن الدقيقة المنتشرة.

٦ ــ مدى القابلية للذوبان: يزيد معدل الإنتشار كلما زادت درجة ذوبان المادة المنتشرة فى السائل.

الإسموزية Osmosis

الإسموزية هى إنتشار المواد (المذيب) خلال غشاء شبه منفذ نتيجة لإختلاف الضغط الإنتشارى لهذه المــادة (المذيب) على جانبى الغشاء. وتحدث الإسموزية حينما يكون هناك محلولين فيهما المذيب مشــترك وضــغط الإنتشار للمذيب فى كلا الجانبين والمحلولين منفصلين عن بعضهما بواسطة غشاء شبه منفذ.

فمثلاً عند مليء غشاء شبه منفذ (على شكل كيس) بمحلول ملحى أو سكرى ثم ربط هذا الكيس ووضعه فى ماء نقى يلاحظ بعد فترة إمتلاء هذا الكيس ويحدث هذا الإنتفاخ ضغطاً على جدار الكيس من الداخل. وهــذا الضغط ينشأ نتيجة لدخول الماء إلى المحلول عن طريق الإسموزية. وفى هذه الحالة يجب مراعاة أن غشاء الكيس لابد وأن يكون شبه منفذ أى يكون منفذاً للماء دون المادة المذابة.

وتنقسم الأغشية تبعاً لخاصية النفاذية إلى:

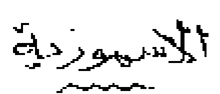
١ ــ أغشية منفذه: أى تسمح لكل من المذيب والمذاب بالنفاذ خلالها مثل ورق الترشيح.

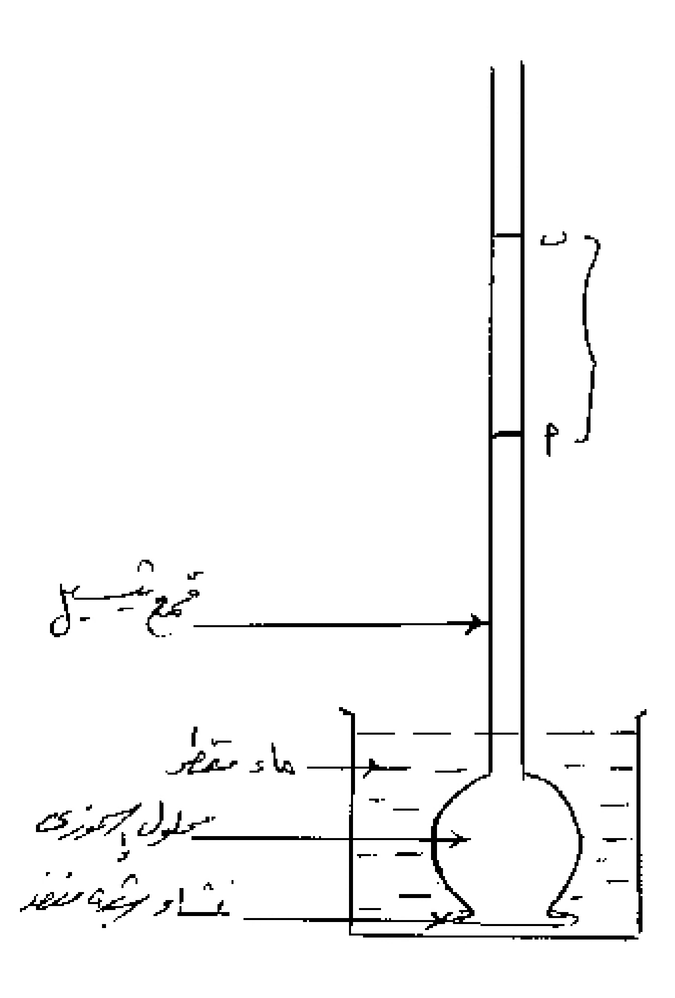
٢ ــ أغشية غير منفذه: لا تسمح لأى من المذاب والمذيب بالنفاذ مثل الزجاج.

٣ ــ أغشية شبه منفذه: تسمح للمذيب فقط دون المذاب بالنفاذ خلالها.

إذا ما وضعنا محلولاً في قمع ثيسيل المغطى بغشاء شبه منفذ ووضع القمع فى كأس به ماء فإننــا نلاحــظ إرتفاع عمود الماء فى ساق القمع ويثبت الإرتفاع بعد فترة عنــد حــد معــين (أى يرتفــع عــن العلامــة أ ←ـــــ ب). والإرتفاع عمود المحلول من أ ←ـــ ب (ثقل عمود المحلول) يساوى مقدار الضغط الــلازم وضعة على جدران الغشاء الداخلى لمعادلة قوة دخول الماء إلى داخل القمع. وهذه القوة تســاوى الضــغط الإسموزى للمحلول.

ويعرف الضغط الإسموزى بأنه "يساوى كمية قيمة أعلى ضغط ناتج عن ثقل عمود المحلول ويلزم إســتمرار حدوث الإسموزية خلال غشاء شبه منفذ.


الأسموزية


ب
أ
ماء مقطر
غشاء شبه منفذ

طرق تقدير الضغط الإسموزى للمحاليل:

١ ــ الطريقة المانومترية: وفيها يقاس الضغط الإسموزى بقياس إرتفاع عمود السائل فى جهاز الأزموميتر Osmometer وذلك بمعلومية محلول إسموزى أخر معروف اسموزيته.

٢ ــ طريقة قياس الإنخفاض فى نقطة التجمد وتسمى Cryoscopy، وفى هذه الطريقة يقاس مقدار الإنخفاض فى نقطة تجمد المحاليل (المراد قياس ضغوطها الإسموزية) عن نقطة تجمد الماء. وهذا الإنخفاض يسمى Freezing point depression وبإعتبار المحاليل المتساوية التركيز بالمولال ذات ضغوط إسموزية متساوية وأن المحلول المولال لأى مادة غير اليكتروليتية ذو ضغط إسموزى يساوى ٢٢.٤ ض ج على درجة الصفر المئوى ومثل هذا المحلول يحدث إنخفاضاً فى نقطة التجمد قدرها ١.٨٦ ْم.

$$\frac{\text{٢٢.٤}}{\text{الضغط الإسموزى للمحلول المراد قياسه}} = \frac{\text{١.٨٦}}{\text{مقدار الإنخفاض فى نقطة التجمد التى يحدثها هذا المحلول } (\Delta)}$$

أى

$$\frac{\text{٢٢.٤}}{\text{ض}} = \frac{\text{١.٨٦}}{\Delta}$$

إذن ض × ١.٨٦ = ٢٢.٤ × Δ

إذن

$$\text{ض} = \frac{\text{٢٢.٤} \times \Delta}{\text{١.٨٦}}$$

وبمعرفة قيمة Δ (معملياُ) يمكن حساب قيمة الضغط الإسموزى لأى محلول بالضغط الجوى.

ومن أحسن الأغشية الشبه منفذه غشاء حديد وسيانور البوتاسيوم وكبريتات النحاس فى إناء مسامى حيث يترسب الغشاء داخل مسام الإناء مكتسباً بذلك صلابة ودعامة الإناء المسامى.

العوامل التى تؤثر على الضغط الإسموزى للمحاليل:

١ ــ التركيز:

تتوقف قيمة الضغط الإسموزى على عدد دقائق المادة المذابة بالنسبة لعدد جزيئات المذيب. وعلى ذلك فإن الضغط الإسموزى للمحاليل الغروية (الجيلاتين) تكون قليلة جداً حيث الدقائق تكون كبيرة وعددها قليل فى

(الوزن الثابت) وبالعكس فى حالة المحاليل الإليكتروليتية (المتأينة) مثل كلوريد الصوديوم حيث يصبح عـــدد الدقائق أكبر من عدد الجزيئات نتيجة لحدوث التأين وذلك عند تساوى التركيز فى الحالتين. أما فى المحاليل الغير متأينة مثل محلول السكروز فإن قيمة الضغط الإسموزى لمحلول منها فى نفس درجـــة التركيـــز يقـــع وسطاً بين الحالتين السابقتين.

ولما كان الوزن الجزيئى لآى مادة يحتوى على عدد ثابت من الجزيئات (رقم أفوجـــادرو = ٦.٠٢ × ١٠ ٢٣ جزئ) فإن إذابة هذه الجزيئات فى لتر من الماء لتعطى محلول مولال فإنه فى هذه المحاليل يكون عدد دقائق المادة المذابة ثابت وكذلك عدد دقائق المذيب ثابت (لتر من الماء فى جميع الحـــالات) وعلـــى ذلـــك تكـــون الضغوط الإسموزية للمحاليل المتساوية التركيز بالمولال متساوية (طالما كانت هذه المحاليل حقيقية وغيـــر متأنية). ولذلك يعتبر التركيز بالمولال هو المقياس الصحيح للتركيز فى حالة الإسموزية وليس المـــولار لأن الأخير عبارة عن الوزن الجزيء بينما يكون عدد جزيئات الماء مختلفة وتتوقف على نوع المـــادة المذابـــة (أى تكون أقل كثيراً أو قليلاً من اللتر حسب نوع المادة) وعلى ذلك لا يكـــون الضـــغط الإســـموزى واحـــد للمحاليل المتساوية التركيز بالمولار.

وأى محلول غير اليكتروليتى ذو تركيز يساوى مولال ذو ضغط إسموزى يساوى ٢٢.٤ ض ج على درجـــة الصفر المئوى (قانون فانت هوف) وهذا بالنسبة للمحاليل التى لا تحتوى على مـــاء تـــأدرت وهـــذا الـــرقم (٢٢.٤) مشتق من قانون بويل Boyles low حيث أن الوزن الجزيئى لأى غاز يشغل حجم قدرة ٢٢.٤ لتر على درجة الصفر المئوى وضغط جوى يساوى الوحدة.

فإذا ضغط هذا الغاز ليشغل حجماً قدرة لتر واحد فإنه يصبح ذو ضغط يســـاوى ٢٢.٤ ض ج علـــى درجـــة الصفر المئوى. وبما أن المحاليل المولال تحتوى على الوزن الجزيئى للمادة فى حجم لتر مـــن المـــذيب إذاً ينطبق عليها نفس القانون.

٢ ــ مادة التأدرت:

وماء التأدرت هو كمية الماء المرتبط حول جزيئات المادة الذائبة مثل السكروز وهى قد تكون كثيرة أو قليلة حسب نوع المادة ومثل هذا الماء لا يحتسب ماء حر. وعلى ذلك تبدو محاليل هذه المواد كما لو كانت أكثـــر

تركيزاً عما يساويه تركيزها الظاهرى بالمولال وبالتالى يكون ضغطها الإسموزى أعلى وعلى سبيل المثال فإن الضغط الإسموزى لمحلول مولال من السكروز = ٢٤.٨ بدلاً من ٢٢.٤ على درجة الصفر المئوى وهذه القيمة تصل إلى ٢٧ ض ج على درجة ٢٥ ْم.

٣ ـــ درجة الحرارة:

يرتفع الضغط الإسموزى بإرتفاع درجة الحرارة المطلقة (قانون جاى لوساك).

أهمية الماء للنبات (دور الماء فى النبات)

يمكن النظر إلى أهمية الماء بالنسبة للنبات من خلال أثرة البيئى Ecological role أو أثره الفسيولوجى Physiological role. وتظهر أهمية الماء من الناحية البيئية فى توزيع النباتات على سطح الأرض الذى يتأثر بالماء الميسر أكثر من أى عامل أخر منفرد. حيث توجد الغابات الإستوائية ثم المراعى ثم نصف الصحراوية فالصحراوية تبعاً لمعدل سقوط الأمطار وتوزيعها على مدار السنة. وعلاوة على ذلك يظهر جزء من أثر الحرارة من خلال تأثيرها على العلاقات المائية نتيجة لتأثير البخر والنتح وسرعة التفاعلات الكيماوية.

تظهر الأهمية الفسيولوجية للماء جلياً فى جميع العمليات الحيوية تقريباً حيث تتأثر هذه العمليات جميعها بطريق مباشر أو غير مباشر بإمداد الماء. فمثلاً تعتمد إستطالة الخلية على وجود حد أدنى من حالة الإمتلاء وتقل إستطالة السوق والأوراق بمقدار كبير بنقص الماء ويمكن إيجاز أثر نقص الماء بصفة عامة فى أنه يؤدى إلى الذبول ← توقف الإستطالة ← غلق الثغور. ونقص الماء الأرضى، علاوة على تداخل ذلك مع العديد من عمليات التحول الغذائى. ويؤدى إستمرار نقص الماء إلى تغير طبيعة البرتوبلازم وموت معظم الكائنات.

ويمكن إيجاز بعض أهميات الماء الفسيولوجية للنبات:

- **أنه مكون رئيسى للبروتوبلازم وهو الوسط الرئيسى الذى ينتشر به باقى مكونات البروتوبلازم.**
- **يدخل الماء فى عملية البناء الضوئى كمادة أساسية.**
- **يدخل فى عمليات التحلل المائى الإنزيمى للمواد النشوية ، الدهنية ، البروتينية.**

- **عامل مهم فى حفظ إمتلاء الخلايا وبذلك تحتفظ بشكلها المميز.**
- **هو الوسط المهم للتفاعلات الإنزيمية بالخلية.**
- **الماء هو الوسط الذى تذاب فيه الأملاح الممتصة التى تستخدم فى عملية البناء الضوئى.**
- **يتم الترابط بين أنسجة النبات المختلفة عن طريق الماء لأن البرتوبلازم وجدر الخلايا السليلوزية تكون متشربة بالماء ويؤدى إلى إتصال باشر بين جميع أجزاء النبات.**

خصائص الماء:

- **إرتفاع الحرارة النوعية: والسبب يرجع إلى ترتيب ذرات الهيدروجين والأكسجين فى جزيئات الماء بحيث يكون لها القابلية على إمتصاص الحرارة دون أن ترتفع درجة الحرارة كثيراً.**
- **إرتفاع درجة حرارة التبخير: فمثلاً وجد أن جرام واحد من الماء يحتاج إلى ٥٤٠ سعر حرارى ليتحول إلى بخار عند ١٠٠ ْم. وهذا الرقم (٥٤٠ سعر) يعتبر رقماً عالياً إذا ما قيس بالمواد الأخرى. وكذلك وجد أن جرام الماء يحتاج إلى ٨٠ سعر ليتحول من الجليد (الصلب) إلى الماء (السائل) وهى أيضاً عالية عند مقارنتها بالمواد الأخرى.**
- **موصل جيد للحرارة إذا ما قورن بغيره من السوائل والأجسام الصلبة غير المعدنية.**
- **الماء شفاف يسمح بمرور الضوء المرئى إلى أعماق كبيرة وبذلك يمكن للطحالب أن تقوم بالبناء الضوئى.**
- **إرتفاع التوتر السطحى نتيجة لإرتفاع قوة التماسك بين الجزيئات مما يؤدى إلى سهولة إرتفاع الماء فى أوعية الخشب للجذر والساق فى النبات.**
- **يتمدد الماء ويزيد فى الحجم بحوالى ١٠% عند التجمد.**
- **قليل التأين وبذلك يمتاز بأنه يصبح مذيباً جيداً للمواد العضوية غير الإلكتروليتية بتكوين روابط هيدروجينية.**

- **يعتبر الماء مذيباً جيداً أيضاً للإلكتروليتات (حيث يتأين جزئياً) حيث يتجاذب فـــى شـــحنات جـــزيء الماء.**
- **يدمص جيداً على أسطح السليلوز والطين الغروى والبروتين وغيرها وذلك بسبب الطبيعة القطبيـــة لجزيئات الماء.**

تفسير الصفات الفريدة للماء

لقد وضعت نظريات عديد تناولت شكل وتركيب جزئ الماء وسوف نتطرق إلى بعضها فيما يلى:

العالم راؤولت Raolt: أفترض أن الماء يتكون من مجموعات من ٤ جزيئات.

العالم فيرنون Vernon: أفترض أنه فوق ٤ ْم يكون تجمع الجزيئات على صورة $(H_2O)_2$ وعند أقل مـــن ٤ ْم يكون تجمع الجزيئات على صورة $(H_2O)_4$.

العالم رونتجن Rontgen: أفترض أن الماء السائل عبارة عن محلول مشبع من الثلج فى صورة أخـــرى من الماء وأعتبر أن الثلج مركب أقل كثافة من الماء وينقص الحجم بإنصهار الثلج. ويزداد حجم الماء برفع درجة الحرارة وبذلك أستطاع تفسير ظهور أقصى كثافة للماء عند ٤ ْم كنتيجة لتجمعها.

العالم سوزرلات Sutherlat: أقترح أن يكون بخار الماء عبارة عن H_2O هيدرول Hydrol فـــى حـــين يكون الماء الثلجى النقى $(H_2O)_3$ Trihydrol. أما السائل فيكون خليطاً من $(H_2O)_2$ & $(H_2O)_3$ بنسب تتوقف على درجة الحرارة وأستنتج من ذلك أن الحرارة الكامنة لإنصهار الثلج وهى فى الغالب حرارة ناتجة عن إنحلال ثلاثى الهيدرول Trihydrol إلى ثنائى الهيدرول Dithydrol.

سائل Dihydrol (water) ⟵ Heat ⟶ Ice (Trihydrol) ثلج
$(H_2o)_2$ تبريد $(H_2o)_3$

حرارة لتكسير الروابط
سائل Dihydrol (water) ⟵⟶ Mono hydrol (بخار ماء) أحادى الهيدرول
$(H_2o)_2$ الهيدروجينية H_2o

وكذلك فحرارة التبخير تتضمن حرارة إنحلال ثنائى وثلاثى الهيدرول إلى أحادى الهيـــدرول المكـــون لبخـــار الماء بمعنى أن حرارة النوعية للماء تتضمن حرارة الإنحلال.

العالم أرمسترونج Armstrong: أقترح وجود المشـــابهات لجـــزئ المـــاء وبتركيبـــات مختلفـــة هـــى الهيدرونات Hydrones فتكون الصور لجزيئات الماء النشطة على صورة هيدرون HOH أو هيـــدرونول H_2O HOH وبذلك تشارك الجزيئات فى التفاعلات الكيماوية. أما فى الجزيئات غير النشطة فتكون نتيجـــة إتحاد الجزيئات مع بعضها وبذلك تصبح مغلقة فى صورة حلقة مثل:

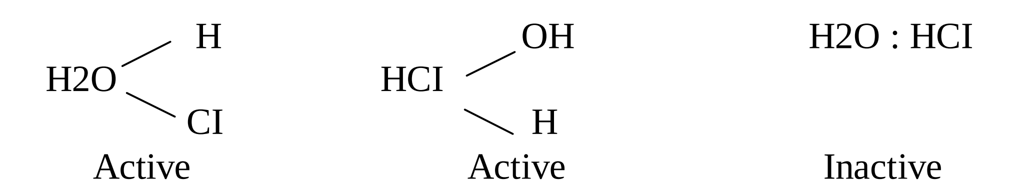
Tetrahydrone	Trihydrone	Dihydrone	Hydronol
$H_2O - OH_2$ $H_2O - OH_2$	$H_2O - OH_2$ \ / O	$H_2O = OH_2$	H_2O < OH, OH
Inactive (مغلق) غير نشط	H_2 (مغلق) غير نشط	Inactive (مغلق) غير نشط	(active) نشط

ويتم الإنحلال بدرجات تختلف بإختلاف درجات الحرارة ووجود الذائبات وطبقاً للمعادلة

$$(H_2O)_n \longleftrightarrow nH_2O$$

وقياساً على ذلك يمكن لمحلول HCl فى الماء أن ينتج الجزيئات الآتية.

وبناء عليه



H2O : HCI

Inactive

وقد يزيد التخفيف بالماء من الصور النشطة فى المحلول.

العالم جويا Guya: أفترض أن إتحاد الجزيئات يتم فى الماء السائل والبخار وقام بحساب معامل الإتحـــاد تحت الظروف المختلفة ووجد أنه عند ٨٠ ْم يكون المعامل ١.٩ وعند ١٠٠ ْم يكون المعامل ١,٨٦ وعنـــد ١٢٠ ْم يكون ١,٨٢.

العالم سثلانت Suthlant: حيث أوضح أن حرارة الإنصهار ١,٨ سعر كبير وحرارة التبخير ٥ سعر كبير وبذلك يكون المجموع ٦,٨ سعر كبير ليتحول من ثلج إلى بخار أو العكس وهو اللازم لتحويل الهيدروبون إلى الحالة الصلبة.

العالم نيرست Nerst: أوضح أن إختلافات الحرارة النوعية للبخار السائل والثلج يمكن أن توضحها بالعلاقة التالية:

$$2H_2O \longleftrightarrow (H_2O)_2 + 2.5\ K.Cal$$

العالم وركر Warker: أعتقد أن الثلج عبارة عن ثلاثى الهيدرون Trihydrone والبخار أحادى الهيدرون Monohydeone فى حين يكون الماء السائل عبارة عن ثنائى الهيدرون Dihydrone مع بعض ثلاثى الهيدرون قرب نقطة التجمد وقليل من أحادى الهيدرون قرب نقطة الغليان.

بعد ذلك توالت الأبحاث الحديثة التى أوضحت أن جزئ الماء يأخذ شكل رباعى إلا أن ذلك لا يوضح زيادة الجزيء غير العادى. وتلى ذلك إقتراح تكون سلاسل قطبية وعلاوة على ذلك قد تتكون حلقة سداسية مغلقة. وبناء على ذلك عند إنصهار الثلج يحدث تفكك للسلاسل وتكسير للحلقات مما يسبب حدوث نقص فى الحجم وبالتالى زيادة كثافة السائل. ومن جهة أخرى فإن زيادة الضغط الجزيئى ورفع الحرارة تحدث أتساع فى المراكز التى يتم عندها التجاذب وبذلك يُرى أقل حجم عند ٤ ْم نتيجة لتداخل كل هذه العوامل.

وبالرغم من أن جزئ الماء البسيط عبارة عن H_2O إلا أنه توجد ثلاث نظائر للهيدروجين وكذلك ثلاث نظائر للأكسوجين وهى H^1 , H^2 , H^3 , O^{16} , O^{17} , O^{18}.

ويمكن أن يتم الإتحاد فى جزئ الماء فى ١٨ صورة مختلفة كالتالى:

$H^1H^1O^{16}$ $H^1H^2O^{16}$ $H^1H^3O^{16}$ $H^2H^2O^{16}$ $H^2H^3O^{16}$ $\longrightarrow$ $H^3H^3O^{16}$ وعددها ٦

$^1H^1O^{17}$ $H^1H^2O^{17}$ $\longrightarrow$ $H^3H^3O^{17}$ وعددها ٦

$H^1H^1O^{18}$ $H^1H^2O^{18}$ $\longrightarrow$ $H^3H^3O^{18}$ وعددها ٦

وبذلك يختلف الوزن الجزيئى للماء من ١٨ ــ ٢٤ تبعاً لهذه النظائر إلا أنه فى الواقــع تكــون H^3 & O^{17} نادراً جداً. ولوحظ أن H^2 يوجد بتركيز حوالى ٢٠٠ جزء فى المليون فى الماء العادى. فى حين يكون معظم الماء فى صورة H^1 & O^{17}.

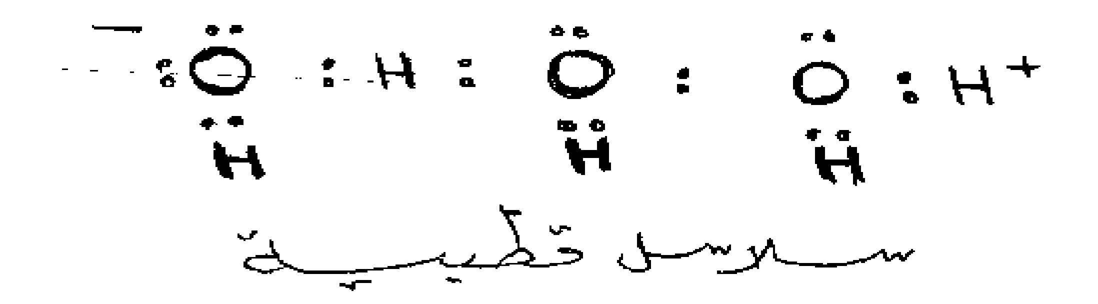
الماء الثقيل $H^3H^3O^{18}$ نادراً $H^3H^3O^{17}$ سائد $H^1H^1O^{17}$

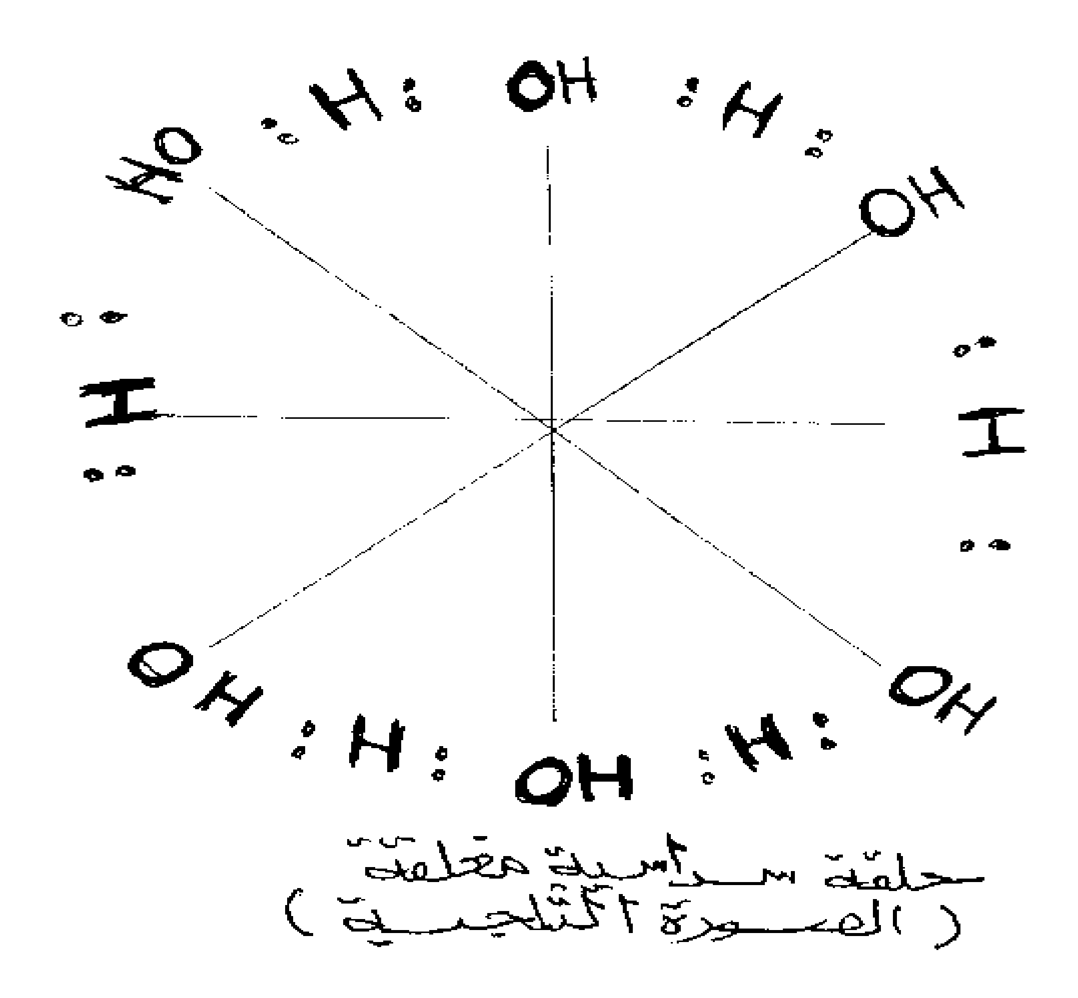
وبناء على ذلك يرجع تفصيل جزيئات الماء إلى أفتراض أن جزيئات المــاء تــرتبط مــع بعضــها بــروابط هيدروجينية وتعتمد الخواص الطبيعية مثل نقطة الغليان ــ حرارة التبخير ــ اللزوجة ــ الجذب السطحى ــ على قوة الربط بين الجزيئات، ويمتاز الماء بزيادة قوة الربط بين الجزيئات نتيجة لقوة الجذب الناتجة عــن الروابط الهيدروجينية بين ذرات الهيدروجين وذرات الأكسوجين فى الجزيء المجاور.

ويتم ربط جزيئات الماء فى شكل شبكى كما فى حالة الثلج وبذلك تقل كثافة الثلج عن الماء العــادى وعنــد ذوبان الثلج تتكسر حوالى ١٥% من الروابط الهيدروجينية ويحتمل خروج حوالى ٨% من الجزيئــات مــن الشكل الشبكى ويؤدى ذلك إلى تفكك جزئى نتيجة زيادة الكثافة عند ٤ ْم. وبزيادة درجة الحــرارة عــن ٤ ْم يزداد الحجم نتيجة زيادة طاقة الجزيئات.

كما يلاحظ أن قوة التوتر السطحى واللزوجة للماء عالية جداً وذلك لوجود الــروابط الهيدروجينيــة فــيمكن للماء أن يبلل الزجاج ، الطمى ، السليلوز وغيرها من المواد التى بها ذرات O^2 على السطح والتى يمكنهــا تكوين روابط هيدروجينية مع ذرات الهيدروجين فى الماء. فى حين لا يمكن للماء أن يبلل الشموع وغيرهــا من الهيدروكربونات حيث لا تتمكن من تكوين مثل هذه الروابط.

كما يعزى إرتفاع نقطة الغليان إلى وجود الروابط الهيدروجينية بين جزيئات الماء حيث يــتم كســر رابطــة هيدروجينية لكل جزئ ماء يتبخر.





الخلية النباتية وعلاقتها بالماء:

تمتاز الخلية النباتية عن الخلية الحيوانية بوجود جدار خلوى يحيط بالغشاء البلازمى شبه المنفذ من الخارج. وبذلك تنفرد الخلية النباتية عن الخلية الحيوانية بمميزات أهمها:

١ ــ يمكن للخلية النباتية أن تحتفظ بحياتها إذا وضعت فى مجال واسع من التركيزات بعكس الخلية الحيوانية التى يجب أن توضع فى محاليل فسيولوجية لكى تحتفظ بحياتها.

٢ ــ إذا وضعت الخلية النباتية فى ماء مقطر فإنها تنتفخ نتيجة لدخول الماء ونادراً جداً ما تتعرض للإنفجار.

٣ ــ يتولد فى الخلية النباتية عند الإمتلاء ضغط يسمى ضغط الإمتلاء أو ضغط الإنتفاخ Tuger pressure وهو يساوى فى القيمة ويضاد فى الإتجاه ضغط الجدار Wall pressure.

وعموماً تنقسم المحاليل بالنسبة لتركيز العصارة الخلوية إلى:

- **محاليل ناقصة التركيز Hypotonic solutions: أى أنها محاليل ذات ضغط إسموزى أقل من الضغط الإسموزى فى العصير الخلوى وعند وضع الخلية النباتية فى مثل هذه المحاليل فإنها تنتفخ وتسمى فى هذه الحالة خلية منتفخة أو ممتلئة Turgid cell نظراً لدخول الماء إلى داخل بمعدل لأكبر من خروجه.**

- **محاليل زائدة التركيز أو زائدة الإسموزية Hypertonic solutions: وهى محاليل ذات ضغط إسموزى أعلى من الضغط الإسموزى للعصير الخلوى وعند وضع خلية نباتية فى مثل هذه المحاليل فإنها تتبلزم نتيجة خروج الماء منها ونقص حجمها. وتسمى فى هذه الحالة خلية متبلزمة Plsmolyzed cell.**

- **محاليل سوية التركيز أو سوية الإسموزية Isotonic solutions: وهى محاليل متساوية فى ضغطها الإسموزى مع العصارة الخلوية. وعند غمر خلية نباتية فى مثل هذه المحاليل فإنه لا يعتريها أى تغيير أى تصبح فى حالة لإتزان ديناميكى مع المحلول منذ لحظة وضعها فيه ولذا تكون سرعة دخول الخلية تساوى تماماً سرعة خروجه فلو تصورنا أن هناك خلية حيه (ذات غشاء بروتوبلازمى شبه منفذ) وموضوعة فى ماء وأن هذه الخلية تحتوى على عصارة خلوية بها محلول ملحى وسكرى. فلو افترضنا أن تركيز العصارة الخلوية يساوى ٥% والماء الخارجى = ١٠٠.**

إذا يكون للماء الخارجى ضغط إنتشارى للداخل قيمته تساوى ١٠٠ وللماء الداخلى ضغط إنتشارى للخـــارج قيمته تساوى ٩٥ وعلى ذلك تحدث إسموزية وينتشر الماء من الخارج إلى الداخل بقوة إنتشارية تساوى ٥ ويترتب على ذلك زيادة حجم الخلية من الداخل يسمى ضغط الإنتفــاخ Turgor pressure ويقـــاوم هـــذا الضغط ضغط أخر مساوى له فى القيمة ومعاكس له فى الإتجاه (من الخارج إلى الـــداخل) ويســـمى ضـــغط الجدار Wall pressure وعند ترك الخلية فى الماء فترة طويلة لتصل إلى حالـــة الإتـــزان فإنهـــا تصـــبح منتفخة Turgid وقوة الإمتصاص النهائية للخلية عادة تساوى الضغط الإسموزى لمحلول هـــذه الخليـــة ــ ضغط الإنتفاخ المتولد داخلها. وهذه الحالة تمثل بالمعادلات التالية:

ص = ض ــ ت D.P.D. (S.F.) = O.P. – T.P.

حيث ص (D.P.D. or S.F.) = قوة الإمتصاص الإسموزية.

ض (O.P.) = الضغط الإسموزى للعصير الخلوى.

ت (T.P.) = ضغط الإنتفاخ.

مثال: خلية ذات ضغط أسموزى يساوى ١٢ ض ج وضعت فى ماء فتكون قيمة ص لها فى بداية التجربـــة ص = ض – ت إذاً ص = ١٢ ــ صفر = ١٢ ض ج.وبدخول الماء إلى الخلية تنتفخ ويتولد داخلها ضـــغط لإنتفاخ يتزايد تدريجياً بإستمرار الإسموزية، بينما قيمة ص تتناقص بإستمرار حتى تصل إلى الصفر وذلـــك عند حالة الإتزان فى نهاية التجربة وبعد أن تصل الخلية إلى أقصى إنتفاخ لها وهنا يقف دخول الماء إليهـــا وتتساوى قيمة ض & ت (كل منها تساوى ١٢ ض ج).

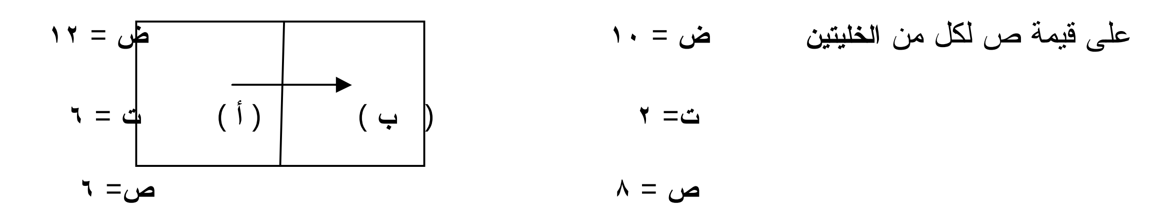
إذاً ص = ض ــ ت إذاً ص = ١٢ ــ ١٢ إذاً ص = صفر ض ج

وفعلاً تكون قوة الإمتصاص فى هذا الوقت تساوى صفر حيث أن الإمتصاص يقف تماماً. والشـــكل البيـــانى التالى يبين العلاقة بين قيمة كلمن ص ، ض ، ت قبل وبعد التجربة وواضح من هذا المثال أن دخول المـــاء إلى الخلية يتوقف على قوة الإمتصاص وليس على قيمة الضغط الإسموزى للعصارة بهـــا والمثـــال التـــالى يوضح ذلك.

الخلية (أ) لها القيم الإسموزية التالية: ض = ١٢   ت = ٦   ص = ١٠

الخلية (ب) لها القيم الإسموزية التالية: ض = ١٠   ت = ٢   ص = ٨

فبالرغم من أن الضغط الإسموزى فى الخلية (أ) أعلى منه فى (ب) إلا أن الماء ينتقل من (أ) إلى (ب) متوقفاً على قيمة ص لكل من الخليتين



وفى الأنسجة النباتية تكون ص = ض ــ ت ناقص ضغط الخلايا المجاورة حيث يؤدى الضغط الأخير إلى الحد من تمدد الخلية نتيجة لدخول الماء إليها وبالتالى فإنه يقلل من قيمة ص.

وكثيراً ما تكون جدر الخلايا النباتية مرنة وقابلة للمطاطية بدرجة معينة وفى هذه الحالة تتمدد جدر الخلية نتيجة لإمتصاصها للماء وتزداد فى الحجم وبالتالى يقل تركيز العصير الخلوى داخلها كما فى المثال التالى:

خلية تسمح جدرها بالتمدد بنسبة ٢٥% من الحجم الأصلى وضغطها الإسموزى قبل بدء التجربة = ٢٠ ض ج وضعت فى محلول خارجى ذو ضغط أسموزى = ١٢ ض ج وبذلك يصبح التركيز بعد التمدد: الحجم الأصلى × التركيز فى بداية التجربة = الحجم النهائى × التركيز فى نهاية التجربة

إذن: ١٠٠ × ٢٠ = ١٢٥ × س

إذن: س = (١٠٠ × ٢٠) / ١٢٥ = ١٦ ض ج

وعند حالة الإتزان يقف دخول الماء إلى الخلية وتصبح قيمة ص لها مساوية لقيمة الضغط الإسموزى للمحلول (١٢) وحيث ص = ض ــ ت

إذن: ١٢ = ١٦ ــ ت

ت = ٤ ، ص = ١٢ ، ض + ١٦ عند الإتزان.

وعند افتراض عدم سماح جدر الخلية للتمدد فإن المعادلة الإسموزية عند الإتزان تصبح ص = ض – ت.

١٢ = ٢٠ ــ ت   إذاً ت = ٨ ، ص = ١٢ ض = ٢٠

أى يمكن القول بأن قيمة ضغط الإنتفاخ (ت) ، الضغط الإسموزى (ض) تصبح أقل عندما تكون جدر الخلية مرنه.

وفى حالة وضع الخلية فى محلول زائد التركيز كما فى الرسم فإن القيم الإسموزية تصبح ص = ض ــ ت

١٠ = ٨ ــ ت

إذاً ت = -٢

١٠ ض

٨ ض

أى أن ضغط الإنتفاخ يصبح بالسالب (-٢) وهذا يعنى أن الخلية فى حالة بلزمة وذلك حتى يخرج الماء من الخلية بدلاً من أن ينفذ إليها، والخلية المتبلزمة إذا لم يحدث لها ضرر ميكانيكى نتيجة للبلزمة (مثل تقطع الأغشية البلازمية) ووضعت بعد ذلك فى ماء نقى فإنها تستمد حالتها الأولى وتأخذ فى إمتصاص الماء تدريجياً وتنتفخ مرة أخرى وتسمى هذه الحالة بالشفاء من البلزمة.

تقدير قوة الإمتصاص الإسموزية

هناك عدة طرق لتقدير قوة الإمتصاص الإسموزية نلخصها فى الآتي:

- **عند وضع قطع أو شرائح معينة من نسيج نباتى معلومة الوزن (أو الحجم) فى محاليل مختلفة التركيز (معلومة الإسموزية) مثل محاليل السكروز وتركها مده فإنه يمكن تحديد المحلول الذى لا يتغير فيه وزن (أو حجم) هذه القطع النباتية. ويكون تركيز هذا المحلول مقدراً على صورة ضغط إسموزى يساوى متوسط قوة الإمتصاص الإسموزية لخلايا النسيج (أى المحلول الذى يكون فيه النسيج فى حالة أتزان دون أن يطرأ علية أى تغيير) أى أن ص تتغير عندما تكون قيمة ت ثابتة لم يطرأ عليها أى تغير، ص تساوى قيمة الضغط الإسموزى للمحلول الخارجى الذى يتعادل فيه النسيج.**

- **وتتلخص كالسابقة فى تحديد المحلول الذى لا يتغير فيه طوال شرائح نباتية معلومة أو طول خيط من الطحلب وتجرى بطريقة القياس تحت الميكروسكوب بدلاً من الوزن وتجب ملاحظة أن عملية القياس تتم والشريحة النباتية مغمورة فى زيت برافين لمنع حدوث تغير فى الطول أثناء القياس الأمر الذى يحدث عند غمر العينة النباتية فى الماء.**
- **طريقة الإنحناء (يرجع للعملى) أن تقدير قوة الإمتصاص الإسموزية يتم على النسيج وخلاياه فى حالة إمتلاء كما هى وذلك عندما يتعادل خروج ودخول الماء من وإلى النسيج.**
- **طريقة شارداكوف: يتم تحضير محاليل سكروز متدرجة التركيز من 0,15 ⟵ 0.40 مولال كما فى الشكل التوضيحى. ثم يوضع كل تركيز فى أنبوبتى إختبار يوضع النسيج النباتى المتجانس فى أنبوبة من كل تركيز وتترك الأنبوبة الأخرى من كل تركيز للمقارنة. توضع نقطة من صبغة أزرق المثيلين فى كل أنبوبة من أنابيب المقارنة ثم ترج لمزج الصبغة بمحتوياتها.**

تترك التجربة لمدة ٣٠ ق ثم تنزع الأنسجة النباتية من الأنابيب ثم توضع نقطة من أنبوبة المقارنة بهدوء شديد فى الأنبوبة المقابلة لها والمساوية لها فى التركيز ويكرر ذلك مع باقى الأنابيب. فإذا صعدت النقطة الملونة لأعلى فهذا يعنى أن النقطة أخف والمحلول المختبر أكثر تركيزاً. أى أن ماء هذا المحلول قد دخل الأنسجة النباتية تاركاً السكروز الذى يزداد تركيزه بالطبع.

وبالعكس لو أن النقطة سقطت إلى أسفل فى قاع الأنبوبة أى أن المحلول أصبح مخففاً لخروج الماء من الأنسجة إلى المحلول الخارجى. أما إذا كانت كثافة المحلول مشابهة لكثافة النقطة المضافة فإنها لا تصعد ولا تهبط وهذا يدل على أن الجهد المائى للنسيج والمحلول الذى وضعت فيه متساويان.

ومن الممكن إستخدام جهاز الرفراكتوميتر بدلا من نقطة السقوط وعدم التغير فى التركيز يدل على أن المحلول له نفس الجهد المائى لذلك الذى يوجد فى النسيج النباتى وهذه الطريقة أدق فى النتائج.

العوامل التى تؤثر فى الضغط الإسموزى لخلايا النبات

من الطبيعى أن أى عامل من شأنه أن يؤثر فى المحتوى المائى أو تركيز الأملاح فى عصارة النبات فإن هذا العامل يلعب دورا مباشرا فى التأثير على الضغط الإسموزى للخلايا النباتية ومثل ذلك عملية النتح (فقد النبات للماء) أو إمتصاص النبات للماء وعموما ما يمكن إضافة العوامل التالية إلى العوامل السابقة.

- **الضغط الإسموزى لمحلول التربة: حيث وجد أن هناك علاقة طردية بين تركيز محلول التربة وبين الضغط الإسموزى لخلايا النبات النامى فى هذه التربة.**

فالنباتات التى تتحمل درجة عالية من الملوحة Halophytes ذات ضغوط إسموزية عالية فى عصارتها الخلوية قد تصل أحيانا إلى ٢٠٠ ض ج كما فى نباتات Atriplex وكذلك النباتات التى تعيش فى المناطق الجافة Xorophytes بينما تتراوح قيمة الضغط الإسموزى لمعظم نباتات البيئة المتوسطة بين ٥ ــ ٣٠ ض ج.

- **نوع النبات: فمثلا الأشجار تحتوى عصارتها على ضغوط إسموزية أعلى من النباتات العشبية.**
- **موضع الخلية فى النبات: فمثلاً عصارة أنسجة الأوراق العليا ذات ضغوط إسموزيه أكبر من عصارة الأنسجة السفلى للنبات ويتبين ذلك من الجدول التالى:ــ**

تأثير محتويات مختلفة من الرطوبة فى التربة على الضغط الإسموزى فى نبات الذرة

نسبة الرطوبة فى التربة	الضغط الإسموزى لخلايا قمة النبات	الضغط الإسموزى لخلايا الجذر
%٣٠	٢٢.٠٦	٥.٩١
%١٦	٢٤.٣٦	٧.٧٩
%١٣	٢٥.٤٧	١١.٣٤

- **عمر الخلية: فمن المعلوم أن الضغط الإسموزى للخلية يزداد بتقدمها فى العمر.**
- **يتوقف الضغط الإسموزى للعصير الخلوى فى النبات على وقت أخذ العينة. ففى الصباح الباكر يكون منخفضا نظرا لنقص نسبة السكر الذائب فى النسيج بينما فى المساء (قبل غروب الشمس) حيث تكون**

نسبة السكريات الذائبة فى العصارة الخلوية عالية نتيجة لعملية البناء الضوئى فإن الضغط الإســموزى للعصارة الخلوية فى النبات يكون عالياً.

تقدير الضغط الإسموزى للأنسجة النباتية

عادة ما يقدر الضغط الإسموزى لعصارة الأنسجة النباتية بطرق عديدة سنكتفى بذكر الطــريقتين التـــاليتين منها:

q طريقة البلزمة Plasmolytic method

وهذه الطريقة تتلخص فى وضع شرائح من النسيج النباتى فى عدد من محاليل قياســية مختلفـــة التركيــز (السكروز مثلا) وتترك مدة كافية لحدوث حالة الإتزان الديناميكى بين العصارة الخلوية والمحلول الخـــارجى (أى إلى أن تقف عملية الإسموزية) ثم تفحص هذه الأنسجة ميكروسكوبيا ويحدد المحلول الذى تكون فيـــه نصف خلاياه تقريباً فى حالة بلزمة بينما النصف الآخر من الخلايا لم يتبلزم بعد. ويكون متوســط الضــغوط الإسموزية للعصارة الخلوية فى النسيج تساوى الضغط الإسموزى للمحلول الخارجى المغمورة فيه ويســمى الضغط الإسموزى التحصل علية بواسطة هذه الطريقة "الضغط الإسموزى عند البلزمة"

Osmotic Pressure at incipient plasmolysis

وقيمتها عادة تكون أكبر قليلاً من الحقيقة لآن الخلية قبل أن تبدى حالة البلزمة يعتريها إنكماش قليــل فـــى الحجم. ومثل هذا الإنكماش يمكن معه تقدير الضغط الإسموزى بدقة أكثر وذلك بتطبيق المعادلة التالية:ــ

ح × ت = ح‘ × ت‘

أى أن الحجم × التركيز عند بدء البلزمة = الحجم × التركيز فى حالة إمتلاء الخلية.

$$ت‘ = \frac{ح \times ت}{ح‘}$$

وبإختصار فإنه لتقدير الضغط الإسموزى بهذه الطريقة تقدر قوة الإمتصاص للنسيج عندما تكون قيمة ت له تساوى صفر (وهى حاله بدء البلزمة).

طريقة تقدير الإنخفاض فى نقطة التجمد Cryoscopic method

ويتم ذلك بتقدير مقدار الإنخفاض فى درجة التجمد للعصير النباتى ثم تطبيق المعادلة:ـــ

$$\text{الضغط الإسموزى} = \frac{\Delta \times ٢٢.٤}{١.٨٦}$$

وهذه الطريقة سبق شرحها عند تقدير الضغط الإسموزى للمحاليل.

التشرب

عند وضع بذور جافة أو قطعة من الخشب فى ماء لبضع ساعات يلاحظ إنتفاخ هذه البذور أو قطعة الخشب بدرجة ملحوظة وهذه الظاهرة تسمى عملية التشرب وكمية الماء التى تمتصها المادة المتشربة (Imbibant) تسمى ماء التشرب وهى عادة تكون كمية كبيرة جداً إذا ماقورنت بالوزن الجاف للمادة المتشربة حيث تصل إلى عشرات أمثالها. ويمكن أن تتشرب مادة ما أبخرة الماء (على الصورة الغازية) ويلاحظ ذلك فى الأجواء الرطبة مثل تمدد الأبواب الخشبية فى الأجواء الرطبة فى فصل الشتاء.

والتشرب فى الواقع هو عملية إنتشار مثل الإسموزية. يتداخل معها الخاصية الشعرية حيث تكون المادة المتشربة عادة ذات تركيب مسامى يتميز بهذه الخاصية. ويصبح من الصعب تحديد كمية الماء التى تدخل بواسطة قوة الإنتشار أو بواسطة الخاصية الشعرية كل على حدة.

وتعزى هذه الخاصية عادة إلى الفرق بين ضغطى الإنتشار للسائل فى الوسطين الخارجى والداخلى للمادة المتشربة. وطالما كانت قيمة الأول كبيرة فإن عملية التشرب تستمر وتصل إلى حالة الإتزان (كما فى حالة الإسموزية) عندما تتساوى قيمة الضغط الإنتشارى للسائل فى الوسطين الخارجى والداخلى. ومن أمثلة المواد المتشربة النشا والجيلاتين والسليلوز والآجار والخشب والبذور الجافة وبذور النباتات ... الخ ومن خصائص عملية التشرب أن حجم المادة المتشربة يزداد نتيجة لعملية التشرب يرجع ذلك إلى سببين.

- **شغل الفراغات الضيقة (المسافات البينية) فى المادة بماء التشرب.**
- **توزيع جزيئات ماء التشرب على الأسطح المدمصة للمادة بطريقة تجعلها أكثر إندماجاً لها وبالتالى تأخذ حجماً أقل. أى يمكن القول بأن جزيئات ماء التشرب تنضغط أكثر إلى بعضها وبالتالى تأخذ حجماً أقل.**

أى يمكن القول بأن جزيئات ماء التشرب تنضغط أكثر إلى بعضها وإلى مادة التشرب وتصبح كثافتها أعلى من كثافة الماء الحر. ويؤدى هذا التركيب إلى نقص قدر من الطاقة الذاتية الكامنة لهذه الجزيئات وهذه الطاقة تفقد على صورة حرارة منطلقة أثناء التشرب من الممكن قياسها وتكون هذه الطاقة كبيرة فى أوائل

العملية ثم تقل كثيراً بتقدم عملية التشرب وتزداد سرعة عملية التشرب بإرتفاع درجة الحرارة شـــأنها فـــى ذلك شأن الإسموزية والرسم التالى يوضح هذه العلاقة.

ونتيجة لعملية التشرب والتمدد الذى يصحبها تتولد ضغوط عالية جداً قد تصـــل إلـــى ١٠٠٠ × ص ج فـــى البذور الجافة وكانت تستخدم هذه الضغوط قديماً فى كسر الأحجار. وكلما كانت المادة المتشربة بهـــا نســـبه عالية من الماء كلما قل ضغط التشرب لها. وتتولد ضغوط نتيجة لعملية التشرب تسمى ضـــغط الإنتفـــاخ ولا تتولد هذه الضغوط إلا فى حالة وجود جدار يمنع من حدوث التمدد وفى هذه الحالة تكـــون العلاقـــة ب قـــوة الإمتصاص = ضغط التشرب ــ ضغط الإنتفاخ (ص = ش ــ ت) تماماً كمـــا فـــى حالـــة قـــوة الإمتصـــاص الإسموزية. أما إذا لم يوجد ما يسبب ضغط الإنتفاخ (جدار صلب خارجى) فإن قـــوة الإمتصـــاص = ضـــغط التشرب للمادة وتتأثر عملية التشرب أيضاً بكمية الأملاح الذائبة فى الماء الخارجى (تماماً مثل الإســـموزية) حيث يؤدى ذلك إلى تقليل قوة التشرب (أى قوة إنتشار الماء للداخل) وذلك بمقارنتها بالماء النقى. وبما أن الضغط الإسموزى للمحاليل هو مقياس لقوة إمتصاصها الإسموزية وعلى ذلك فهو يؤثر على عملية التشرب بصورة عكسية أى أن زيادة الضغط الإسموزى للمحاليل تؤدى إلى نقص التشرب.

العلاقات المائية للخلية والنبات

إمتصاص الماء Absorption of water

يعتبر الجذر هو النسيج النباتى المتخصص لإمتصاص الماء من التربة وهذا بالطبع لا يمنع إمتصاص النبات للماء بواسطة أنسجة أخرى هوائية بجانب الإمتصاص الجذرى. ومن هذه الأنسجة الأوراق والجذور الهوائية أو جميع أسطح النبات فى حالة النباتات المائية المغمورة تحت سطح الماء. كما أن للجذور وظيفة أساسية أخرى للنبات وهى تدعيم جسم النبات وتثبيته فى التربة.

وأهم منطقة فى الجذر هى منطقة الشعيرات الجذرية فمعظم الماء الممتص يكون عن طريقها ويسلك الماء الممتص المسار التالى عند إمتصاصة حتى يصل إلى أوعية الخشب: ــ

- منطقة الشعيرات الجذرية والطبقة الخارجية.
- القشرة وهى من الخلايا البارانشيمية.
- الإندودرمس وهذه الطبقة لا تمثل مشكلة فى جذور ذوات الفلقتين. أما فى ذوات الفلقة الواحدة فمعظم خلايا الإندودرمس غير منفذه لتغليظ جدارها الداخلية وأحياناً الخارجية ، الداخلية بمادة السوبرين وتوجد فقط خلايا ممررة فى إتجاه واحد فقط.
- البريسيكل وخلاياه منفذة للماء وأوعية الخشب ممتدة ومتصلة ببعضها طولياً فى الجذر والساق والأوراق.

إمتصاص الماء بواسطة أجزاء النبات الهوائية:

إمتصاص الماء على صورتية السائلة والبخارية تحدث بدرجة محدودة بواسطة الأجزاء الهوائية لمعظم النباتات. ويتوقف هذا الإمتصاص على درجة إسموزية خلايا الورقة ودرجة نفاذية طبقة الأديم. ويعتقد بعض الباحثين أن الماء الممتص بواسطة الأوراق يمكن أن ينتقل فى الإتجاه العكسى خلال النبات ويمكن أن ينتشر الماء من هلال الجذر إلى التربة.

صور الماء الموجودة بالتربة:

تحتوى التربة على كميات مختلفة من الماء فبعد سقوط الأمطار بغزارة أو بعد الرى يتم صرف جــزء منــه يسمى الماء الحر ويعتبر غير قابل لإفادة النبات وتحت تأثير الجاذبية الأرضية يرشح جزء من المــاء إلــى أسفل حيث يصل إلى مستوى الماء الأرضى ويعتبر ذو فائدة قليلة للنبات. ويعتبر الماء الحر ضار بالنبــات نتيجة لإزالة الهواء من المسافات البينية لحبيبات التربة واللازم لتنفس الجذور وبالتالى يضمحل نمو الجذور نتيجة لنقص الأكسوجين.

وتحتفظ حبيبات التربة بالجزء الأكبر من ماء المطر ضد الجاذبية الأرضية مما يحافظ على رطوبــة التربــة فيدمص جزء من هذا الماء بغرويات التربة على هيئــة غشــاء رقيــق ويســمى بالمــاء الأيجروســكوبى Hygroscopic ويعتبر غير قابل لإفادة النبات ويعرف ما يتبقى من الماء بالمــاء الشــعرى Capillary water الذى يملأ المسافات بين أجزاء التربة أو يكون أغشية حولها ويعتبر ذو أهمية كبيرة للنبات وذلــك لأنه قابل لإمتصاص الجذور.

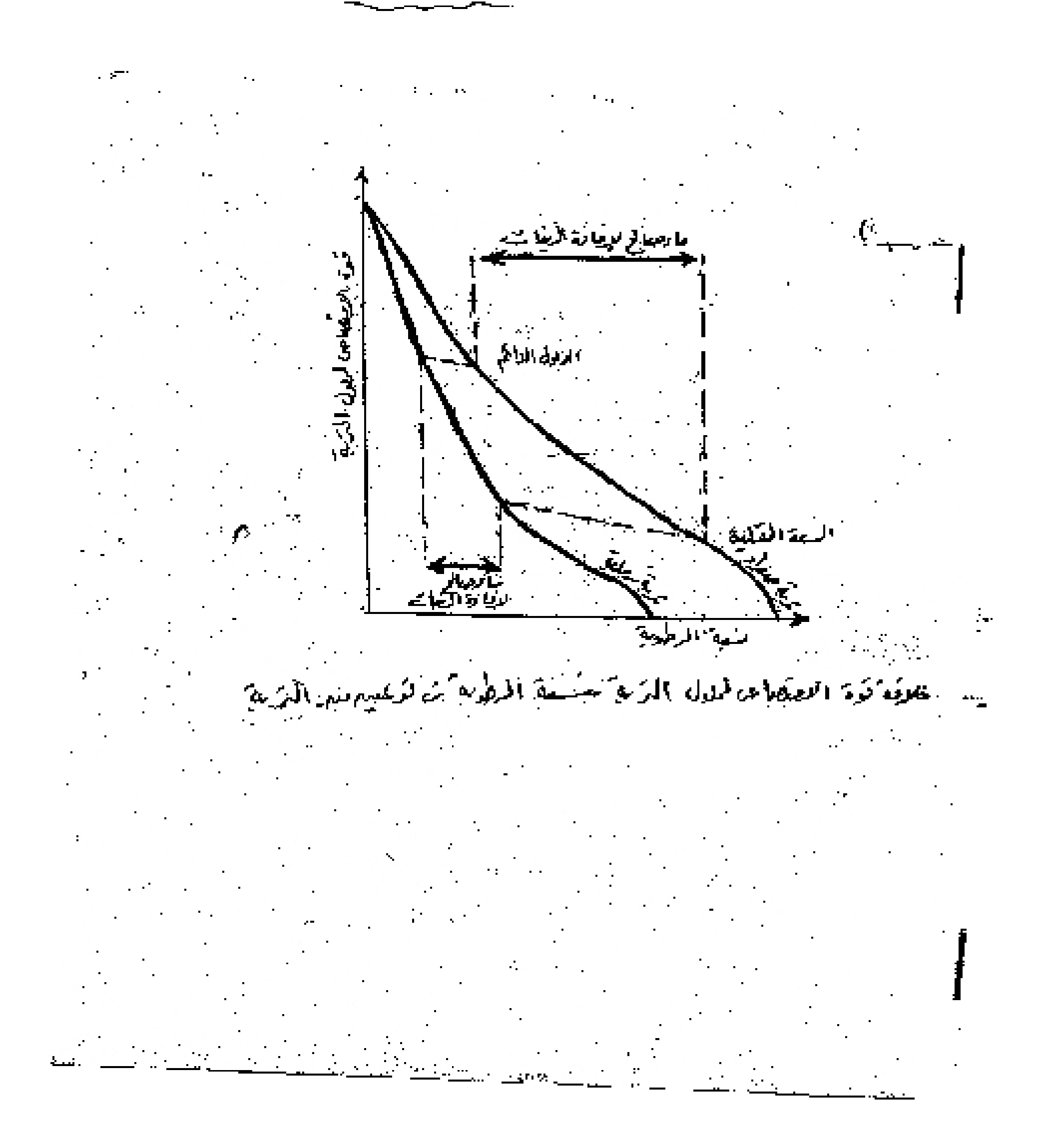
ويرتفع الماء من ماء الرشح أو الماء الأرضى بالخاصية الشعرية لإرتفاعات مختلفة بالتربة معتمدة فى ذلك على تركيبها وقد وجد أن الإنسياب الشعرى يسمح بحركة الماء من الماء الأرضى إلى مسافة حــوالى ٣٥ سم فى حالة الرمل الخشن وحوالى ٩٥ سم فى حالة الطين الثقيل.

القوى التى تسبب إمتصاص النبات للماء ورفع العصارة

يمكن تقسيم القوى التى تتسبب فى إمتصاص النبات للماء إلى:

- **قوة الضغط الجذرى.**
- **القوة السالبة (النتح).**
- **نظرية الشد المتماسك.**

كمية الماء الصالحة للامتصاص من التربة



منحنى قوة الامتصاص لماء التربة حسب نسبة الرطوبة في نوعين من التربة

أولاً: الضغط الجذرى:

وهذه القوة هى إحدى القوى المسئولة عن إمتصاص الماء بواسطة الجذر والإمتصاص عن طريق قوة الضغط الجذرى يكون فعالاً عندما يكون التركيز الإسموزى لمحلول التربة لا يتعدى ١ ــ ٢ ص ج. وتتألف قوة الضغط الجذرى من عدة قوى أخرى منها:

* قوة التشرب:

من المعروف أن الجذور النباتية تتكون من مواد غروية متصلبة لها قدرة كبيرة على التشرب بالماء لذلك نجد أن خلايا الجذر المغمورة فى تربة رطبة أكثر تشرباً بالماء من الخلايا الداخلية (طبقات القشرة) فينتقل الماء بالتالى عن طريق قوة التشرب من الخارج إلى الداخل. وبإستمرار إنتقال الماء يستمر فعل قوة التشرب فى صورة إنسياب مستمر للماء إلى داخل نسيج الجذر خلال طبقات القشرة. ويجدر أن نشير إلى أن كميات الماء التى تدخل أنسجة النبات (الجذور) عن طريق هذا الطريق هى فى الواقع كميات محدودة جداً إلا أن هذه القوة تلعب دوراً أساسياً فى إمتصاص النبات للماء فى مرحلة إنبات البذور.

* قوة الإمتصاص الإسموزية:

ينتقل الماء من خلية إلى أخرى مجاورة لها ويتوقف ذلك على قوة الإمتصاص الإسموزية وليس على قيمة الضغط الإسموزى لعصير الخلايا. حيث ينتقل الماء إلى الخلية ذات قوة الإمتصاص الإسموزية الأكبر وعادة يكون الضغط الإسموزى لمحلول التربة أقل من الضغط الإسموزى لخلايا الطبقة الخارجية فى الجذر.

وفى الشكل نجد أن خلية أ = ٣ ــ ٥ ض ج وعادة يكون الماء فى التربة صالحاً لإفادة النبات عندما تكون قيمة الضغط الإسموزى لمحلول التربة أقل من ١ ــ ١٥ ض ج وفى الأحوال العادية يكون الضغط الإسموزى لمحلول التربة أقل من ١ ض ج وكلما زاد الضغط الإسموزى لمحلول التربة كلما قل الإمتصاص وبإنتقال الماء إلى خلايا الطبقة الخارجية فى الجذر تنتفخ هذه الخلايا وتمتلئ بالماء ويتولد فيها ضغط إنتفاخ متزايد وبالتالى تنقص قوة إمتصاصها الإسموزية لتصبح أقل من الخلية المجاورة لها جهة الداخل (ب) وبذلك تمتص الخلية (ب) الماء من (أ) نظراً لزيادة قوة إمتصاصها الإسموزية كما سبق ونتيجة

لإمتصاص الماء إلى الداخل (خلية ب) تقل قيمة ص لها لتصبح الخلية (ج) ذات قوة إمتصاص أكبر منها فتمتص فيها الماء وهكذا تستمر العملية ويندفع الماء من التربة إلى داخل الجذر (الخلية هــ).

أ ٣ ــ ٥ ض ج	ب	ج	د	هــ	و
التربة أقل من ١ ض ج					حوالى ٢ ض ج

وبعد ذلك يتعرض الماء فى الأنبوب الخشبى (و) للشد نتيجة رفع العصارة (القوة السالبة) وبذلك تصب الخلية (هــ) ماءها إلى الأنبوب (و) بعد تولد ضغط إنتفاخ كبير بداخلها وتعرضها أيضاً لضغط جدر الخلايا المجاورة على أسطحها من الخارج من جهة وإستمرار سحب عمود الماء فى الأوعية الخشبية من جهة أخرى. ولذا يمكن تشبيه الخلايا التى تمتص وتنقل الماء خلالها جميعاً من (أ ــ هــ) بغشاء شبه منفذ. ويكون إنتقال الماء عبر هذا الغشاء متأثراً بقيمة الفرق بين الضغط الإسموزى للمحلولين على جانبى هذا الغشاء. وقد وجد فعلاً أن الضغط الإسموزى للمحلول فى الأوعية الخشبية يكون دائماً أعلى من الضغط الإسموزى لمحلول التربة (حوالى ٢ ض ج) ويندفع الماء فى أوعية الخشب بقوة ناشئة عن الفرق بين ضغطى محلول التربة ومحلول أوعية الخشب.

* الطاقة الناتجة عن التنفس:

توضح هذه النظرية أن إمتصاص الماء يتم بمعدلات سريعة عن فروق التركيز لقوة الإمتصاص الإسموزية. وفسر فيها إنتقال الماء إلى الخشب عبر الخلايا المجاورة بمساعدة عمليات الطاقة الناتجة من عمليات التنفس حيث لوحظ أن نقص الأكسوجين وزيادة ثانى أكسيد الكربون تؤدى إلى تقليل إمتصاص الماء بواسطة الجذور.

الظواهر المترتبة على الضغط الجذرى:

ظاهرة الإدماء: التى تحدث عن تقليم أشجار العنب وهذه الظاهرة Bleeding هى خروج قطرات مائية من الأسطح المقطوعة من الساق بعد التقليم.

ظاهرة الإدماع Guttation وهى خروج قطرات مائية مــن أطــراف أوراق بعــض النباتــات وخاصــة النجيليات فى الصباح الباكر فى الجو الدافئ. وعند توفر الرطوبة أثناء الليل ولذا لا يجد الماء ســبيلاً إلــى الخروج من أنسجة النبات إلا عن طريق فتحات فى أطراف الأوراق تعرف بالثغور المائية.

ثانياً: القوة السالبة (القوة الناشئة عن النتح):

يتضح أن فقد الماء من نسيج الورقة نتيجة لعملية النتح تقلل من درجة إنتفاخ الخلايا أى نقص قيمة الضغط الجدارى أو ضغط الإمتلاء. كما أن عملية البناء الضوئى التى تتم فى نسيج الورقة أيضاً من شأنه أن يزيــد تركيز السكريات فى خلايا الورقة أى زيادة بالتالى فى قيمة الضغط الإسموزى لعصير هذه الخلايا.

وبتطبيق المعادلة ص = ض ــ ت وحيث تميل ض للزيادة، ت تميل إلى النقصان إذا لابد أن تكون قيمة ص لنسيج الورقة (الميزوفيل) عالى جداً بالنسبة لبقية خلايا النبات وبذلك يكون نسيج الورقــة وحجمــه مــن العوامل المهمة جداً فى إمتصاص وصعود العصارة النباتية.

وفى أوائل الربيع عندما تكون الأوراق صغيرة وغير مكتملة (فى متساقطة الأوراق) يكون الضغط الجــذرى هو القوة الفعالة فى إمتصاص وصعود العصارة بينما فى أواخر الربيع وأوائل الصيف حيث تكتمــل الأوراق فى النمو والحجم وتقوم بوظائفها الفسيولوجية على أكمل وجه تكون القوة الفعالة فى إمتصــاص وصــعود العصارة هو القوة السائدة.

ثالثاً: نظرية الشد المتماسك Cohesion-Tension theory:

كى تفهم المقصود بهذه النظرية لابد وأن نتفهم صفات الماء التماسكية Cohesive والاصــقة Adhesive. تتماسك جزيئات الماء بعضها البعض وفى نفس الوقت تتماسك مع جدر الأنبوبة الزجاجية (عند مرور الماء فى أنبوبة شعرية). لذلك لا ينقطع عمود الماء ما لم تتغلب قوى الجذب داخل العمود علــى قــوى التماســك والإلتصاق فى العمود أو إنقطاع العمود بالهواء.

وهذه القوى الطبيعية وهى قوة التماسك Cohesion وقوة تماسك جزيئات الماء ببعضها لا يمكن ملاحظتها بصورة واضحة إلا فى الأنابيب الشعرية. فعند جذب الماء من قمة هذه الأنابيب فإن هذا يحدث تخلخــلاً فــى

عمود الماء كله ويتعرض عمود الماء لعملية شد متصلة هى فى الواقع قوة التماسك بـين جزيئـات المـاء وبعضها. وبجانب ذلك توجد قوة أخرى هى قوة إلتصاق جزيئات الماء بجدران الأنبوب Adhesion وبهـذا تعمل أعمدة الماء فى الأوعية الخشبية كما لو كانت خيوط متصلة ببعضها. عند سحبها من القمة ينتقل الفعل التأثيرى للشد لبقية العمود المائى على طول الوعاء الخشبى. وتعريض أطراف الأعمدة المائية فـى أوعيـة الخشب لشد مستمر عن طريق قوة النتح يؤدى بالتالى إلى خلق قوة غير مباشرة (قوة سحب) تساعد علـى صعود العصارة فى النبات.

وخلايا نسيج الميزوفيل فى أوراق النبات ذات قوة إمتصاص إسـموزية عاليـة نظـراً لإرتفـاع ضـغطها الإسموزى لإحتوائها على سكريات نواتج البناء الضوئى. يؤدى ذلك إلى سحب الماء مـن أوعيـة الخشـب بإستمرار وتنشأ عن ذلك حالة توتر Tension (شد) لأعمدة الماء فى الأوعية الخشبية من شأنه أن يزيـد من قوة الإمتصاص للعصارة فى أوعية الخشب بمقدار هذا الشد وينتقل هذا التأثير إلى أوعية الخشـب فـى الجذر حيث تصبح قوة إمتصاصها أكبر من قوة الإمتصاص للخلايا المجاورة لها. ولهذا تتوالد قوة محركـة لدفع الماء من مناطق الإمتصاص وتوصيل هذا إلى الأنسجة الهوائية العليا للنبات.

العوامل التى تؤثر على امتصاص الجذر للماء

١ ــ كمية الماء الصالحة للامتصاص فى التربة:

غالباً يتحدد نمو النبات بالمحتوى المائى للتربة وذلك لأنة عندما يقل المحتوى المائى فأنة يصبح ممسـوكاً بدرجة أكبر إلى حبيبات التربة ولذا يصبح أقل إفادة للنبات. والماء القابل لإفادة النبات ينحصر فـى مـدى رطوبة التربة من السعة الحلقية إلى نقطة الذبول الدائم والسعة الحلقية Field capacity هو محتواها من الماء بعد أن تبلل جيداً ثم يسمح بحدوث الرشح الذى يحدث تغير قليل فى المحتوى المائى وغالباً ما يسـمى الماء المتبقى بالتربة بالماء الشعرى ويكون ممسوكا بقوة الجذب السطحى على هيئة أغشية محيطة بحبيبات التربة وفى المسافات البينية الصغيرة.

ونسبة الذبول الدائم Permanent wilting percentage هو المحتوى المائى الذى تصبح فيـه الأوراق ذابلة طول الليل فى غرفة ذات جو رطب. ويعرف المستوى المائى بين السعة الحلقية وتقطة الذبول الـدائم

بالماء القابل للإفادة وذلك لأن النبات يتمكن من إمتصاصة بسهولة. كما أن المحتوى المائى فى المدى من السعة الحلقية ونقطة التشبع يكون قابل للإفادة كذلك إلا أنه يتسبب فى طرد كثير من هواء التربة ولذا تعانى الجذور من التهوية غير المناسبة. كما أن النبات عادة ما يستمر فى إمتصاص الماء من تربة أقل فى محتواها عن حالة نقطة الذبول الدائمة إلا أن الإمتصاص يكون بطيء للغاية ليعوض ما فقد من الماء ويؤدى نقص الماء إلى توقف النمو ويؤدى فى النهاية إلى الموت نتيجة الجفاف Dehydration ويوضح الشكل هذه العلاقة.

٢ ــ حرارة التربة:

أ- درجة الحرارة المرتفعة:

يزداد معدل الإمتصاص بإرتفاع درجة الحرارة ويرجع ذلك إلى تأثير الحرارة على اللزوجة للماء والبروتوبلازم كما أن إرتفاع الحرارة يؤدى إلى زيادة نشاط البروتوبلازم وبالتالى تزداد عملية التنفس وينطلق قدر من الطاقة يساعد فى زيادة إمتصاص الماء والأملاح.

ب- درجة الحرارة المنخفضة:

تقلل درجة الحرارة المنخفضة من إمتصاص الماء حيث وجد أن نباتات الدخان والكوسة ذبلت بدرجة شديدة عن نباتات الكرنب واللفت فى الأراضى الباردة. وقد وجد العديد من الباحثين إختلافات كبيرة بين الأنواع النباتية وعلاقتها بالحرارة المنخفضة للتربة.

ومن أسباب نقص الإمتصاص عند الحرارة المنخفضة:

- **تأخر إستطالة الجذر وبذلك يقل معدل إختراقة لمناطق جديدة بالتربة.**
- **قلة معدل حركة الماء من التربة إلى الجذر.**
- **قلة نفاذية الخلية والتى تقل بصفة عامة مع خفض درجة الحرارة.**
- **زيادة لزوجة الماء مما يقلل حركته داخل خلايا الجذر نفسه وكذلك قلة حركته من التربة للجذر.**
- **نقص نشاط التحول الغذائى للخلايا الحيه بالجذور ويعتبر ذلك معوقاً لميكانيكية الإمتصاص المباشر.**

٣ ــ تركيز محلول التربة:

يؤدى الضغط الإسموزى المرتفع للتربة إلى موت النبات. وعند قلة الماء بالتربة فإن تراكم الملــح بالتربــة غالباً ما يزيد من الضغط الإسموزى إلى نقطة يختفى عندها إمتصاص الماء وتوقف النمــو. وقــد وجــد أن ضغط إسموزى قدرة (٢) ضغط جوى يقلل النمو وأن ضغط جوى قدرة (٤) ضغط جوى يسبب ضرر معظــم نباتات المحاصيل. ولو أنه لوحظ بعض النباتات يمكنها المعيشة فى المناطق الملحية وذلك لزيادة أســموزية عصيرها الخلوى عن تلك التى تنمو فى المناطق الأخرى.

٤ ــ التهوية:

توجد إختلافات كبيرة بين الأنواع النباتية بالنسبة لمقدرتها على النمو فى التربــة مشــبعة بالمــاء وقليلــة التهوية.

ــ نباتات السعد وذيل القط والأرز تنمو بنجاح فى الأراضى المغمورة بالماء.

ــ نباتات الدخان يصيبها الضرر أو تموت عند غمر الأرض بالماء لفترات قليلة.

ويرجع إختلاف تحمل الأنواع النباتية المختلفة إلى غمر الأرض بالماء إلى كل من الإختلافات المورفولوجية والفسيولوجية. فالجذر النامية فى أرض قليلة التهوية تحتوى على مسافات بينية كبيرة وغرف هوائية عــن الجذور النامية فى الأراضى حسنة التهوية. وعموماً يرجع سبب موت النباتات التى لا تتحمل غمــر الأرض بالماء إلى نقص التهوية لا إلى زيادة الرطوبة.

ويؤدى نقص التهوية إلى قلة نشاط التحول الغذائى للجذور وقلة نفاذيتها للماء ثم تموت فــى النهايــة. ولا يؤثر نقص التهوية على إمتصاص الماء فقط بل على إمتصاص العناصر الغذائية كذلك.

٥ ــ تركيز CO2

- **من الواضح أن تراكم CO_2 فى التربة يؤدى إلى تثبيط إمتصاص الماء عن ذلك الذى يحدث بســبب نقص O_2 (الأكسوجين).**
- **زيادة تركيز CO_2 تسبب زيادة فى لزوجة البرتوبلازم وبالتالى نقص فى نفاذية الجذر للماء والتــى تؤدى بالطبع إلى نقص إمتصاص الماء.**

٦ ــ كفاءة النظام الماص:

- **يقل إمتصاص الماء بنقص كفاءة المجموع الجذرى.**
- **يزداد معدل الإمتصاص بزيادة السطح الماص وبزيادة تعمق الجذر بالتربة.**
- **يوجد إختلاف واضح فى نفاذية الماء عبر طول الجذر والتى ترجع إلى تركيبة.**

ففى الأجزاء المرستيمية يدخل جزء قليل من الماء وذلك نتيجة للمقاومة الشديدة لحركة الماء خلال الكتلة السيتوبلازمية التى تملأ الخلية وكذلك غياب أوعية الخشب لنقل الماء. ويحدث أعلى إمتصاص فى المنطقة التى يتكشف بها الخشب بدرجة كافية.

٧ ــ النتح:

كلما زاد معدل النتح كلما زاد معدل الإمتصاص.

النتح

من المعروف أن الماء ضرورى لحياه النبات ويعتبر ضرورياً للإبقاء على التوازن المناسب بين فقده وإمتصاصة. كما يعتبر ضروريا للنمو والتكوين. ويتم فقد النبات للماء فى صورة مائية هو من خلال عملية الإدماع ويسمى فقد الماء من المجموع الخضرى للنباتات الحيه فى صورة أبخرة بالنتح.

ويمثل النتح الطريق الرئيسى لفقد الماء من النبات. والنتح أساساً عملية بخر إلا أنه يختلف عنه بعض المظاهر الطبيعية وذلك ناتج عن تركيب النبات وسلوك الثغر. ويتم النتح عامة فى المرحلتين الآتيتين:

- **تبخر الماء من جدر الخلايا الرطبة فى المسافات البينية.**
- **إنتشارها من المسافات البينية إلى الجو الخارجى.**

ويفقد معظم الماء المتبخر خلال الثغر ولكن بعض منها ينتشر للخارج من خلال خلايا البشرة والكيوتيكل. كما ويتم خروج بخار الماء من العديسات وذلك فى النباتات الخشبية. ومن أنواع النتح الثغرى ، النتح العديسى ، النتح الأدمى.

أولاً: النتح العديسى:

فقد يحدث فقد الماء من خلال قلف الأشجار الخشبية ولكنه يخرج بصفة خاصة من العديسات. والنتح العديسى لا ينتج عنه نقصاً معنوياً فى الماء فقد قدر العلماء الفقد الناتج من العديسات بحوالى ٠.١ % من الماء المفقود من قمة الشجرة.

ثانياً: النتح الأدمى:

فقد الماء من أسطح خلايا بشرة الأوراق والسوق العشبية يطلق عليه النتح الكيوتينى لأن هذه الأسطح مغطاة عادة بطبقة شمعية من الكيوتين مختلفة السمك. ويقلل الكيوتين فقد الماء بدرجة كبيرة.

ثالثاً: النتح الثغرى:

يفقد الماء من خلال الثغور فى حالة النتح الثغرى وذلك لأنها الطريقة الأقل مقاومة لإنتشار بخار الماء. والثغور عبارة عن فتحات بالبشرة محاطة بزوج من خلال البشرة تعرف بالخلايا الحارسة وهى التى تتحكم فى حجم فتحاتها.

ويتراوح عدد الثغور من ١٠٠٠ إلى ٢٠٠٠ لكل سم^{٢} فى النجيليات ولأكثر من ١٠٠.٠٠٠ لكل/سم^{٢} Quercus coccinea وهذه الثغور عند تمام إنفتاحها تشغل ١ ــ ٢% من سطح الورقة الكلى.

عادة ما تكون عدد الثغور أكثر فى أوراق النباتات المشمسة الجافة عن تلك النامية فى الأماكن الظليلة الرطبة. وتوجد الثغور على السطح السفلى فقط للأوراق فى العديد من أنواع مثل النباتات الخشبية ولكن فى أنواع كثيرة أخرى توجد على كلا السطحين. ويمثل الجدول التالى عدد الثغور فى سم^{٢} من سطح الورقة.

نوع النبات	البشرة السفلى	البشرة العليا
التفاح	٣٨٧٦٠	- -
الفاصوليا	٢٤٨٠٦	٤٠٣١
الذرة	٩٩٢٢	٦٠٤٧
البلوط	٥٨١٤٠	- -
البرتقال	٤٤٩٦١	- -
عباد الشمس	١٥٥٠٤	٨٥٢٦

قد أوضح العلماء أن التعدد الثغرى يتوقف على رطوبة البيئة فتصاحب الظروف الجافة تعدد كبير فى عـــدد الثغور. أما فى الظروف الرطبة فيصاحبها إنخفاض فى تعدد الثغور. كما لاحظ العلماء أن فتحة الثغر الكليـــة فى وحدة مساحة سطح الورقة تكون كبيرة فى ظروف الجفاف عنها فـــى الظـــروف الرطبـــة بـــالرغم مـــن المساحة الكبيرة التى يبلغها الثغر فى الظروف الرطبة.

سعه الثغر الإنتشارية:

تعتبر كفاءة الثغر كطريق للإنتشار ذات قيمة كبيرة. ففى مساحة مسطحة قـــدرها ١% أو أقـــل مـــن ســـطح الورقة تفوق حركة بخار الماء من خلال الثغور عن ٥٠% من سطح مائى حر. ولذلك فإن معـــدل الإنتشـــار خلال ثغر واحد أحياناً يكون أكبر ٥٠ مرة على الأقل من الإنتشار من مساحة مساوية لســـطح مـــائى حـــر. والسبب فى ذلك هو أن الإنتشار خلال الفتحات الصغيرة يتناسب مع محيطاتها وليس مع مساحاتها. وعلـــى أساس وحدة المساحة فإن الثقوب الصغيرة تسمح بدرجة إنتشار عالية عن الثقوب الكبيرة وذلك لأن إنتشار المواد خلال هذه الثقوب لا تكون حركتها فى خطوط مستقيمة ولكنها تميل إلى الإنتشار للخارج فـــى جميـــع الإتجاهات من محيط الفتحات مكونة ما يشبه القصعة أو أغطية من البخار نتيجة الإنتشار.

حركة الثغور:

تتحكم حركة الخلايا الحارسة فى فتحة الثغر والتى تعتمد عادة على إنتفاخها ويوجد عديد من أنواع الخلايـــا الحارسة فى المملكة النباتية. فزيادة إنتفاخ الخلايا الحارسة تسبب إنكماش جدرها المرنة وقد لخص العـــالم Stalflet هذه الخطوات كالآتى:

تغير فى المحتويات ←── تغير الإنتفاخ ←── تغير الحجم ←── حركة الخلايا الحارسة

وسبب التغير فى الإنتفاخ يرجع إلى التغير فى الضغط الإسموزى للخلايا الحارسة نتيجة للتغيـــر فـــى كميـــة النشا والسكر بالإضافة إلى عوامل أخرى. ويتم فتح الثغر نتيجة لإنتفاخ الخلايا الحارسة.

العوامل المؤثرة على ميكانيكية فتح وغلق الثغور:

١ ــ الضوء:

- **تفتح الثغور فى وجود الضوء فى الظلام حيث يزداد pH فى الضوء (قلــوى) ويقــل فـــى الظـــلام (حامضى).**
- **تفتح الثغور جيداً عند تعرضها للضوء الأحمر أو الأزرق وتغلق عند تعرضها للأحمر البعيد FR أو البنفسجى.**
- **يعمل الضوء على تحرك كمية كبيرة من البوتاسيوم (K) من الخلايا المجاورة إلى الخلايا الحارســة كما يصاحب إنحلال النشا وبالتالى إرتفاع إسموزية الخلايا الحارسة وإمتلائها مما يؤدى إلـــى فــتح الثغور.**
- **فسر العالم Yin والعالم Tung تأثير الــ pH حيث لاحظا وجود إنزيم الفوسفوريليز فى بلاستيدات الخلايا الحارسة الذى يشجع تحليل النشا إلى سكريات عند pH = 7 (قلوى)، بينمـــا يشـــجع هــذا الإنزيم تكوين النشا عند pH = 5 (حامضى) وبالتالى تصبح الخلايا الحارسة نشطة إسموزيا عند 7 = pH نظراً لإحتوائها على سكريات وتمتص الماء من الخلايا المجاورة وينفتح الثغر.**

٢ ــ CO2 :

يمكن فتح الثغر فى الظلام بتخفيض تركيز CO_2 تحت مستوى التركيز العادى فى الهواء الجوى أما زيادة تركيزه عن الموجود بالهواء الجوى يسبب غلق الثغور حتى مع التعريض للضوء.

٣ ــ نقص الماء وحمض الأبسيسيك (ABA):

- **عند نقص الماء وتعرض النبات للذبول فإن الثغور تغلق ويقل النتح ويزداد تركيز حمــض ABA ويتراكم فى أوراق النبات.**
- **لوحظ أنه عند إضافة ABA إلى أوراق النبات فإنه ينشط غلق الثغور.**

٤ - الحرارة:

- **إنخفاض درجة الحرارة أقل من صفر م ْ يؤدى إلى غلق الثغور.**

- **بإرتفاع درجة الحرارة يزداد إنتفاخ الثغور إلا أنه فى حالة نبات البصل والقطن فإن فتح الثغور يقل عند درجة حرارة أكبر من ٣٠ ْم.**
- **إرتفاع درجة الحرارة من ٣٥- ٥٠ ْم يؤدى إلى تحويل النشا فى الخلايا الحارسة إلى سكر مـــالتوز ويزداد إنتفاخ الخلايا الحارسة وبالتالى تفتح الثغور بإتساع.**

٥ - الرطوبة:

الرطوبة المنخفضة فى الجو تؤدى إلى إنتفاخ الثغور بإتساع.

٦ - الوسط الحامضى والعناصر:

- **تفتح الثغور فى وجود الأمونيا حتى مع وجود الظلام وتغلق فى حامضى حتى مع وجود الضوء.**
- **يمكن ترتيب تأثير الأيونات على إطالة تحليل النشا فى الخلايا الحارسة وتأثيرها فى تنشـــيط فـــتح الثغور على النحو التالى:**
- **ليثيوم > صوديوم > بوتاسيوم > مغنسيوم > كالسيوم > باريوم > نترات > كبريتات > بروميد.**
- **وجد أن الثغور ذات إستجابة متغيرة عند نقص عناصر معينة خاصة النيتـــروجين ــ الفســـفور ــ البوتاسيوم فنقص أى من هذه العناصر يؤدى إلى أن تكون الثغور أقل إتساعاً.**

طرق قياس النتح:

يمكن إستخدام عدة طرق لقياس النتح وهذه الطرق تقيس الماء الممتص أو بخار الماء المفتـــوح بواســـطة النبات ومن هذه الطرق.

*** الطريقة الوزنية:**

وتعتبر هذه الطريقة من أسهل وأبسط الطرق حيث يوزن نبات بالأصيص عند بداية ونهاية فترة زمنية معينة وفى هذه الحالة لابد من تغطية سطح التربة والأصيص بمادة مانعة وعازلة حتى نتجنب تبخر الماء من تلك الأسطح فيما عدا النبات مع الأخذ فى الاعتبار أن كمية الماء المستهلك فى عملية البناء الضوئى أو التنفس فإنها محدودة للغاية وغير معنوية.

*** طريقة البوتوميتر:**

تعتمد هذه الطريقة على أفتراض أن معدل امتصاص الماء يتساوى مع معدل النتح. وفى هذه الطريقــة يــتم تثبيت فرع خضرى لنبات ما فى فتحة البوتوميتر ويؤخذ على هذه الطريقة أنها فى الحقيقــة تقــيس معــدل الامتصاص وليس معدل النتح إلا أنها مثالية لدراسة تأثير الظروف البيئية المختلفة من الحــرارة وإضــاءة وحركة الهواء على معدل النتح.

*** طريق جمع ووزن بخار الماء:**

فى هذه الطريقة يوضع النبات فى إناء زجاجى محكم ومغلق به فتحات معينة ويمرر بهــذا الوعــاء تيــار هوائى معروف محتواة من الرطوبة ويمر الهواء إلى خارج الإناء ويمر على أنبوبة تحتــوى علــى وزنــة معلومة من كلوريد الكالسيوم (وهو شره جدا لامتصاص الماء). والفرق فى الوزن لكلوريد الكالســيوم مــن بداية التجربة ونهايتها يدل على كمية الماء الناتج.

٤ ــ الطريقة الوعائية:

تشبه هذه الطريقة إلى حد بعيد الطريقة السابقة إلا أنها تقيس النتح لورقة فرديــة وهــى طريقــة معملية مثالية حيث يمر الهواء المعروف رطوبتة إلى داخل الوعاء ثم يجمع الهواء الخارج من الوعاء ويتم تقدير الرطوبة النسبية به ثم يقدر معدل النتح.

٥ ــ طريقة كلوريد الكوبلت:

وهذه الطريقة تعتمد على اللون وليس الوزن حيث يتم التعرف على بخار الماء المنتوح بالتحول فى اللون. ويتم تشبيع ورق ترشيح بمحلول مائى لكلوريد الكوبلت ٣% ثم تجفيف فيصير لون الأوراق ازرق عند تمام الجفاف . توضع ورقة نبات بين ورقتى ترشيح مشبعتان بكلوريد الكوبلت وجافتين فيتحــول لــون الورقــة بالتدريج من الأزرق إلى القرنفلى وذلك لخروج الماء من ثغور الورقة على شــكل فــتح. ومعــدل التحــول التدريجى من الأزرق إلى الأحمر الفرنفلى يعبر عن معدل النتح . ويعد استخدام هذه الطريقة نادراً لأنها غير دقيقة.

العوامل المؤثرة على النتح Factors affecting transpiration

سوف نتناول بعض العوامل النباتية والبيئية على عملية النتح فيما يلى:

أ ــ العوامل النباتية المؤثرة على النتح Factors affecting transpiration

أعتبر دور الثغور كمنظم للنتح. وفى خلال الجزء الأول من هذا القرن وضعت تأكيدات كثيرة على التغيـرات التركيبية التى يبدو أنها تقلل من درجة فقد المـاء وقـد قيمـت النباتـات إلـى نباتـات البيئـة الجافـة Xerophytes ونباتات البيئة المتوسطة Mesophytes وقد وضع التركيب التشريحى والعلاقات المائيـة للنباتات فى السنوات الحالية تحت الفحص والتقدير حيث ظهر بواسطة عديـد مـن المشـتغلين أن أوراق نباتات البيئة الجافة تنتج بدرجة أسرع من نباتات البيئة المتوسطة إذا أمدت جيدا بالماء.

١ ـ مساحة الورقة Leafarea

يفقد الجزء الأكبر من الماء بالنبات من خلال الأوراق . وانه لمن التوقع أن النباتات ذات المساحة الورقيـة الكبيرة تفقد كثير من الماء بمقارنتها بالنباتات ذات المساحة الورقية الصغيرة . ويعتبر هذا حقيقى ومعقول ولو أن درجة النتح لا تتناسب مع مساحة الورقة.

٢ ـ تركيب الورقة Leaf structure

يؤثر تركيب الورقة بدرجة كبيرة فى درجة فقد الماء. ويعتبر سمك طبقة الكيوتين من العوامل الهامة. ومن المعتقد عامة أن النباتات التى لها طبقة كيوتين سميكة تعيش مدة أطول من النباتات التى لها طبقة كيوتين رقيقة . فقد وجد أن النباتات التى لها أوراق سميكة مغطاة بطبقة كبيرة من الكيوتين وطبقات محكمة مـن خلايا النسيج العادى Palisade cells وذات مسافات بينية صغيرة غالبا ما تنتج بدرجة الأوراق الرقيقـة المغطاة بطبقة قليلة من الكيوتين وتركب خلايا الميزوفيل سائبة وذات مسافات بينية كبيرة وذلك إذا أمـدت بكميات مناسبة من الماء. وهذه الإختلافات كان مرجعها إلى الإختلافات فى الأسطح الداخليـة المعروضـة للمسافات البينية. فقد أوضح Turrell ١٩٣٦ ، ١٩٤٤ أن أوراق نباتات البيئة الجافة عادة يكـون لهـا أسطح كثيرة معرضة للجو الداخلى عما هو موجود فى أوراق النباتات العادية وتؤدى أسطح التبخير الكبيرة الناتجة عن أسطح الخلايا الداخلية لأوراق نباتات البيئة الجافة إلى زيادة معدل النتح عند تفتح الثغور مـع

توفر إمداد مناسب من الماء. ولكن طبقات الكيوتين السميكة تؤدى إلى خفض النتح الكيوتينى وذلك عندما تكون الثغور مغلقة.

٣ـ نسبة المجموع الخضرى إلى الجذرى Root – shoot ratio

تعتبر نسب الأسطح الماصة إلى الأسطح الناتجة أكثر أهمية من الأوراق نفسها أو الأسطح الناتجة. ولو لم يحافظ إمتصاص الماء على متابعة تعويض ما يفقد منه فإنه يحدث نقص داخلى للماء والذى يقلل من النتح.

٤ـ المحتوى المائى للأوراق Water content of leaves

من الأمور التى تستوجب التفكير فيها. ما إذا كان نقص المحتوى المائى يقلل من النتح مباشرة أو بطريقة غير مباشرة وذلك بإتصال الثغور فقد أقترح Renner ١٩١٠ ، Livingston ١٩٠٦ ، and Brown Livingston ١٩١٢ أن النتح السريع يقلل المحتوى المائى للخلايا الملامسة للمسافات البينية ولذلك يقل معدل البخر ويعرف هذا بالجفاف المبدئى Incipcut drying وقد وجد Gregory ١٩٥٠ أن المحتوى المائى للورقة يجب أن يقل بدرجة كبيرة قبل أن يقل النتح مباشرة. بينما أوضح Stalfelt سنه ١٩٥٦ أن الجفاف المبدئى لجدر الخلايا الداخلية ليس له علاقة هامة على النتح الثغرى وقد أرجع (أو عزى) معظم النقص فى النتح أثناء الجفاف إلى قفل الثغور.

ب ـ العوامل البينية المؤثرة على النتح Environmental factors affecting transpiration

النتح أساساً هو بخر الماء وإنتشارة من أنسجة النبات ولهذا فإنه يتأثر بالعوامل التى تؤثر على البخر من الأسطح الأخرى المبللة. ومن هذه العوامل البيئية:

* الرطوبة النسبية.
* الحرارة.
* الضوء.
* الرياح.
* إمداد الماء للأوراق.
* الضغط الجوى.
* طبيعة الغاز الموجود بالجو الذى ينتشر إليه الماء.

قد تؤثر هذه العوامل بطريقة غير مباشرة على النتح من خلال تأثيرها على فتح و/أو قفل الثغــور أو علـــى تركيب الورقة ولكن على العكس من ذلك فإن مسببات التأثيرات الوسطية لهذه العوامل المختلفة على النـــتح ــ فيما عدا الإثنين الآخريتين مما سبق. يمكن شرحها بوضوح من خلال تأثيراتها علـــى الضـــغط النســـبى للبخار فى داخل وخارج الورقة ومن العوامل الأكثر أهمية رطوبة الجو وحرارتـــه وكـــذلك حـــرارة النبـــات والرياح، ويرجع سبب أهمية هذه العوامل إلى أنها تؤثر على فرق ضغط بخار الماء من سطح النبات المبخر عنه فى الجو العادى. ولو أن الضوء المرئى ليس له تأثير مباشر على التبخير إلا أنه يؤثر بدرجـــة كبيـــرة على معدل النتح من خلال تأثيرة على فتح الثغور كما تعتبر كمية الرطوبة الصالحة للنبات فى التربة عامـــل هام وذلك لتأثيرها على الإتزان المائى الداخلى. وسوف نتناول بعض هذه العوامل:

١ . رطوبة الجو Humidity of the air

يمكن التعبير عن حالة رطوبة الجو بالرطوبة المطلقة Absolutr humidity أو الرطوبة النسبية أو نقص التشبع أو ضغط البخار أو نقص ضغط البخار. وتعنى الرطوبة النسبية كمية بخار الماء الموجودة فى حجوم معينة فى أى وقت منسوبة إلى ما يمكن أن يوجد منه إذا ما شبعت هذه الحجوم ببخار الماء فى نفس درجة الحرارة.

ولنتخيل فتح الثغور مع ثبات (إستقرار) درجة الحرارة فإن معدل النتح يعتمد على الفرق فى ضـــغط البخـــار بين كل من نسيج النبات والهواء ومن ثم فإن ضغط بخار الماء يعتبر مهما.

٢ . الحرارة Temperature

زيادة درجة الحرارة تزيد من معدل النتح وذلك لأنها تزيد من فرق ضغط بخار الماء من أنسجة النبات عـــن الهواء.

٣ . الرياح Wind

تسبب الرياح عادة زيادة النتح وذلك لأنها تزيل بخار الماء المجاور للأسطح الناتجة وتؤدى زيادة الفرق بين ضغط بخار الماء فى أنسجة النبات والهواء الخارجى المحيط به. ولكنها تصل كذلك إلى تبريد الأوراق ولذلك

قد يظهر لها أثر عكسى. وسواء كانت الأوراق دافئة أو باردة فإن الحمل بتيارات الهواء يمنع بخار الماء من الأسطح الناتجة.

٤. الضوء Light

للضوء المرئى تأثير هام على النتح حيث أنه يحكم فتح الثغور وغالباً ما تكون معظم الثغور مغلقة أثناء الليل ومن ثم فإن معدل النتح أثناء الليل يقل بدرجة كبيرة عن معدل النتح فى النهار.

ويوجد إختلافات واضحة فى إستجابة الأنواع النباتية للضوء ويسبب الجو الملبد بالغيوم قلة فتح الثغور لمعظم النباتات والتى يكون موطنها بلاد مشمسة وهذا التأثير يلاحظ بصفة خاصة عند درجات الحرارة المنخفضة. وتداخل الحرارة المنخفضة مع الجو الملبد بالغيوم غالباً ما يكون فى الشتاء ويعتبر ذلك غير مناسب لفتح الثغور.

٥. الإمداد بالماء Water supply

قد يكون النقص فى كمية الماء من العوامل البيئية الهامة وذلك للتأثيرات المختلفة الناتجة لنقص الماء الداخلى ويمكن ملاحظة النقص السريع فى نتح النباتات النامية فى تربة جافة.

أهمية النتح:

يؤدى النتح إلى واحد أو أكثر مما يلى:

- **التبخير: أى التحول من السائل إلى البخار مما يؤدى إلى تبريد السطح الذى يتم عنده التبخير.**
- **إنتشار بخار الماء من المسافات البينية إلى الجو الخارجى.**
- **حركة الماء فى الجذور وخلال الأنسجة الناقلة إلى الأوراق.**
- **خفض المحتوى المائى للنبات ونقص المحتوى المائى للبيئة التى يمتص منها الماء.**
- **زيادة محتوى رطوبة الجو.**
- **إستمرار النتح يساعد على إنتقال الأملاح خلال أوعية الخشب وإنتقالها وتوزيعها فى النبات.**

نفاذية الأغشية السيتوبلازمية

تتميز الخلايا النباتية بإحاطتها بالجدار الخلوى الذى يسمح بنفاذ الماء والذائبات بحرية تامة. بينمـــا يـــنظم الغشاء البلازمى مرور الذائبات وذلك حتى تصبح المحتويات الداخلية لخلايا النبات منظمة بدقـــة. ويقصـــد بالنفاذية مرور المواد عبر الأغشية الخلوية وبالتالى فإن درجة نفاذ أى مادة تختلف عـــن الأخـــرى ويقـــوم الغشاء السيتوبلازمى وكذلك أغشية جسيمات الخلية المختلفة بتنظيم مرور الذائبات.

من المعروف أن الأيونات تعانى من ضعف فى حركتها وإنتقالها عبر الأغشية الخلوية وذلـــك لكبـــر حجـــم الغلاف المائى المحيط بها ولعدم ذوبانها فى الدهون ولوجود شحنات كهربائية عليها ممـــا يجعلهـــا تتـــأثر بالشحنات الأخرى الموزعة فى الأغشية وكذلك شحنات الأيونات الأخرى الموجودة.

الإنتقال السالب والنشط للذائبات:

يطلق الإنتقال السالب على إنتشار الجزيئات التى لا تحمل شحنات كهربائية مثل المواد العضـــوية البســـيطة ومنها الجلكوز والذى ينتشر على جانبى الغشاء ونتيجة لفرق الجهد الإنتشارى على جانبى الغشاء ويطلـــق على هذا النوع بالإنتشار السالب أو الطبيعى.

ولكن عند حدوث إنتقال أو إمتصاص نشط للجزيئات أو الأيونات متخطية بذلك قوانين الإنتشـــار المعروفـــة فهذه ما يطلق علية الإنتقال أو الإمتصاص النشط. ولذلك فإن هذا الإنتقال يحتاج إلى توفر طاقة ليتم حدوثـــة ضد فروق التركيز وهناك كثير من الأدلة المتوفرة على إمتصاص وإنتقال الأيونات المختلفـــة عـــن طريـــق الإنتقال النشط. وقد أوضح العالم Levitt بعض الأسباب لهذا الإعتقاد منها:

ما هى الأدلة على حدوث الإنتقال النشط:

- **زيادة معدل الإنتقال ضد فروق التركيز على جانبى الغشاء.**
- **حدوث تراكم للأيونات داخل الخلايا بدرجة ملحوظة عن الوسط الخارجى.**
- **وجود علاقة معدل الإنتقال وكمية الطاقة الناتجة عن التحولات الغذائية.**
- **إرتباط ميكانيكية الإنتقال مع نشاط الخلية.**

ويحدث كلا النوعين من الإنتقال السالب أو النشط للذائبات من جسيم لأخر داخل الخلية أو من خلية لأخـــرى أو من محلول التربة لخلايا الجذر.

وعلى سبيل المثال فان السكروز الذى يبنى داخل البلاستيدة الخضراء أثناء عملية البناء الضوئى ينتقل إلـــى السيتوبلازم المحيط بالبلاستيدة بالانتشار السالب لفرق التركيز داخل وخارج البلاستيدة وبـــنفس الطريقـــة ينتقل إلى الخلايا المجاورة وكذلك خلال الأنابيب الغربالية. وكمثال للإنتقال النشط داخل الخلايا مـــا يحـــدث لصبغة الانثوثيانين القرمزية اللون توجد فى كثير من بتلات الأزهار وجذور البنجر وغيرها عند انتقالها من السيتوبلازم إلى الفجوة العصارية حيث مكان تراكمها عبر غشاء التونوبلاست.

وللانتقال النشط أهمية بالغة للخلايا الحية حيث أنه يمنع انتشار العناصر المهمة لنشاط التحولات الغذائية من داخل الخلية إلى خارجها.

ميكانيكية الإنتقال النشط:

يمكن تلخيص هذه الميكانيكيات حسب أراء العلماء فى النقاط التالية:

١ ـ النظرية الغربالية

حيث يتوقف نفاذ الذائبات على حجم الثقوب التى توجد فى الغشاء البلازمى وبذلك تختلـــف نفاذيـــة المـــادة حسب حجم وشكل كل من الثقب والدقيقة النافذة. فالمواد التى يقل حجمها عن حجم الثقب والكبيرة الحجم لا تنفذ. ويؤخذ على هذه الطريقة:

- **لم تستطيع هذه النظرية تفسير نفاذية المواد غير القطبية بدرجة أسرع من المركبات القطبية والتى يكون وزنها الجزيئى قليل فى معظم الحالات.**
- **لوحظ عدم مرور الفيروس خلال مرشح تشمبرلند المشحون بشحنة موجبة بينما ينفذ خـــلال نفـــس المرشح إذا شحن بشحنات سالبة وهذه لا يمكن تفسيرها تبعا لهذه النظرية.**

٢ ــ نظرية الإذابة Solubility

وقد اقترح هذه النظرية العالم اوفرتون وتفترض هذه النظرية أن الغشاء البرتوبلازمى شبة سائل وان الطبقة السطحية منة تتكون من مواد شبيهة بالدهون مع بروتينية وتنفذ المواد القابلة للذوبان فى الدهون بدرجة عالية (المواد الغير قطبية).

إلا أن هذه النظرية لا يمكنها تفسير جميع النتائج . فمثلا بعض الصبغات التى تذوب فى الدهون لا يمكنها النفاذ خلال الأغشية البرتوبلازمية.

وقد أدخلت تعديلات كثيرة على هذه النظرية أهمها التعديل الحديث الذى يفترض أن الغشاء البلازمى يتركب من طورين ممتزجين (موزيك) طور مائى وهو الذى يسمع بنفاذية المواد الذائبة فى الماء وطور دهنى وهو الذى يسمح بنفاذية المواد الذائبة فيه.

وتشترط هذه النظرية أن المادة تذوب أولاً فى مادة الغشاء البلازمى فى جانب واحد ثم تنتشر خلال سمك الغشاء إلى الجانب الأخر ثم تترك الغشاء وتعبر إلى الجانب الثانى منه.

٣ ــ نظرية الإنتشار الحر

حيث ينتشر العنصر من التركيز الأعلى خارج الخلية إلى التركيز الأقل داخل الخلية تبعا لقوانين الانتشار العادية المعروفة. ولم تفسر النظرية تراكم نوعية معينة من العناصر داخل الخلية حيث يصل تركيز العنصر داخل الخلية إلى أكثر من ٣٠ ضعف تركيزه خارج الخلية وبالرغم من هذا يستمر دخول العنصر إلى داخل الخلايا.

٤ ــ إتزان دونان

وهذه النظرية تفسر كيف تتركز العناصر الممتصة داخل الخلية بدرجة أعلى من تركيزها فى الخارج . فمثلا النفاذية تعتمد على أن الغشاء البلازمى ينفذ كل من ايونات الصوديوم والكلور ولكنه غير منفذ للبروتينات وعلى ذلك إذا ما وضعت خلية نباتية تحتوى على ملح بروتينات الصوديوم فى محلول خارجى من كلوريد الصوديوم وتركت للتعادل منه. فيلاحظ فى النهاية أن أيونات الصوديوم والكلور نفذت إلى الداخل ويؤدى

ذلك إلى تراكم أيون الصوديوم داخليا ومعه كمية من أيونات الكلور بينما فى الخارج يقل تركيز كل من Na^+ ، CL^- وعند حالة الإتزان يكون ضرب الأيونات × الكاتيونات متساوى خارج وداخل الخلية.

إذن $Na^+ \times CL^-$ (فى الخارج) = $Na^+ \times CL^-$ (فى الداخل).

قبل الإتزان

CL^- (١٠٠٠) ←	بروتينات (١٠٠٠)
Na^+ (١٠٠٠) ←	ملح صوديوم (١٠٠٠)
	موجود مسبقاً

بعد الإتزان

	(١٠٠٠)	وتينات
← CL^- ٦٦٦	(٣٣٣)	Cl
← Na^+ ٦٦٦	(١٣٣٣)	N

$Na^+ \times CL^-$ (فى الخارج = $Na^+ \times CL^-$ (فى الداخل).

٦٦٦ × ٦٦٦ = ١٣٣٣ × ٣٣٣ تقريباً

وبهذا يمكن تفسير نفاذية ايونات الصوديوم والكلور وتركيز كاتيون Na^+ بالذات داخل الغشاء البلازمى بدرجة اكبر من تركيزه فى الخارج وذلك تحقيقا للإتزان.

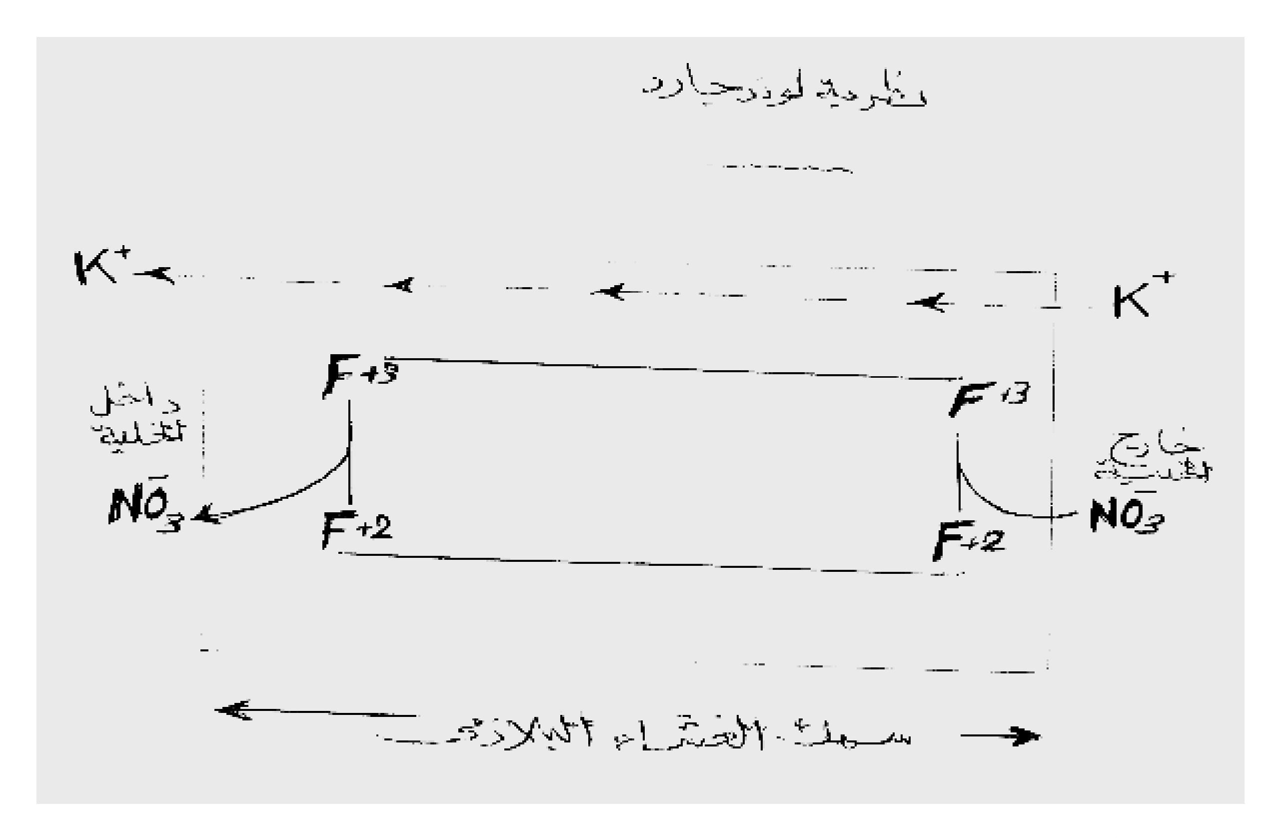
٥ ــ التبادل الأيونى Ionexchange

التبادل الأيونى يتم بين الكاتيونات المدمصة على سطح غرويات التربة وسطح الخلية السالب الشحنة. وهذا التبادل يتم أما بطريق الاتصال المباشر بين حبيبات التربة وأسطح الخلية وأما عن طريق محلول التربة. وتفرز مناطق الجذر الممتصة النشطة كميات كبيرة من ثانى أكسيد الكربون فى صورة حمض كربونيك وأحماض عضوية أخرى عن طريقها يتم تبادل الايونات والكاتيونات بين محلول التربة وسيتوبلازم الخلية.

٦ ــ نظرية لوندجارد

وهذه النظرية تعتمد اساسا على أن ذرة الحديد فى مركبات السيتوكروم المختلفة تنتقل من صورة حديدوز إلى حديديك بالاكسوجين الجوى ثم تعود وتختزل مرة أخرى إلى صورة الحديدوز عن طريق المرافقات الإنزيمية المختزلة $FADH_2$ وذلك خلال الغشاء البلازمى.

وقد اقترح لوندجارد أن ذرة الحديديك وهو يحمل شحنة موجبة ينجذب إليه الأيونات (مثل النترات السالبة الشحنة) وتمر معه عبر الغشاء إلى الداخل. وعندما يختزل F^{+++} إلى F^{++} تنفرد الأيونات داخل الغشاء. ثم يعود الحديدوز المختزل مرة أخرى ليتأكسد بواسطة O_2 بمساعدة إنزيم سيتوكروم أوكسيديز. وفى هذه الحالة يكون عند الجانب الخارجى من الغشاء ويكون صالحا لجذب أيونات أخرى إلى الداخل وهكذا. أما الكاتيونات مثل K^+ (البوتاسيوم) ، ca^{++} (الكالسيوم) فنفترض النظرية أنها تتبع الأنيونات فى المرور. ولكن نظرية لوندجارد تحتاج لبعض التعديلات تفسر أهمية المواد الفسفورية (ATP) فى عملية إمتصاص الأيونات.



٧ ــ نظرية الناقلات Carrier theory

وهذه النظرية تفترض أن هناك مواد متخصصة فى نقل الذائبات إلى داخل الخلية وهذه المــواد توجــد فـــى الغشاء البلازمى وتتكون من بروتينات عادية أو نووية وتقوم كل منها بنقل نوع من الأيونات خلال الغشـــاء البلازمى إلى الداخل تماماً كما يحدث فى التفاعلات الإنزيمية.

وأثناء عملية الإنتقال هذه تنطلق طاقة حرارية أثناء عملية الإمتصاص لكى تمكن الخلية من إمتصـــاص مـــا تريده والمحافظة على الأيونات الممتصة فى الداخل. وكذلك العمل على تركيز هذه الأيونات فى الداخل حتـــى ولو كان تركيز هذا الأيون فى الخارج محدوداً.

خارج الخلية			طاقة	داخل الخلية
- - - - - - - - -	⟵⟶	معدن مرتبط بالناقل	⟵⟶	- - - - - - - - - -
أيون + ناقل				أيون + ناقل

وهذه الحوامل قد تكون متخصصة لعنصر معين بالذات أو أن يكون الحامل متخصص لنقل مجموعة معينـــة من الأنيونات مثل الهالوجينات أو يكون الحامل عاماً أى ينقل أى ايون طالما توفرت شروط الإنتقال.

وقد أفترض العديد من العلماء أمثلة لمثل تلك الحوامل.

١ ــ الكحولات العطرية. ٢ ــ الأحماض الأمينية. ٣ ــ السيتوكرومات .

٤ ــ سيتوبلازم الخلية. ٥ ــ ATP.

ظـــاهرة الـــتضاد

من المعروف أن محلول أى ملح منفرداً يكون ضاراً بالنبات إلا أنه إذا خلطت محاليل عدة أملاح منها بنسب معينة وليكن محلول NaCl مع محلول $CaCl_2$ فإن كلا من الملحين يضاد التأثير الضـــار للآخـــر ويســـمى المحلول فى هذه الحالة متزناً. وفى حين أن ظاهرة التضاد تبدو واضحة بين الكاتيونات الأحادية والكاتيونات ثنائية التكافؤ إلا أنها تكون ضعيفة بين الكاتيونات متشابه التكافؤ.

وظاهرة التضاد يمكن تفسيرها على أن البروتوبلازم يتكون من أملاح بروتينات مع كاتيونات عديدة مثل K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} ، وهذه الأملاح تكون فى حالة أتزان بحيث إذا تعرضت الخلية النباتية لمحلول ملح واحـــد فإن نوعاً واحداً من الكاتيونات (كاتيون هذا الملح) تحل محل عدد من الكاتيونات وبهذا يسود هذا الملح مما

يؤدى إلى تغيير تركيب وصفات البروتوبلازم ويحدث بالتالى التأثير الضار. ومما يمنع الوصول إلى مثل هذه الحالة وجود ملحين أو أكثر فى الوسط الغذائى مثل $CaCl_2$ & KCl.

ويعتقد العلماء أن أيونات الملح بدلا من إتحادهما كيميائياً مع البروتوبلازم قــد تتجمــع ســطحياً بواســطة غرويات الخلية. وعلى هذا فإن مجموعة الأملاح حين توجد فى البيئة الغذائية يبدأ أثرها عن طــرق تقليــل التجمع السطحى لأيونات كل نوع منها على حدة. ومن التفسيرات التى ظهــرت كــذلك بخصــوص ظــاهرة التضاد، أفترض أن وجود مادتين كيميائيتين فى الوسط الغذائى بنسب معينة يؤدى إلــى حالــة ثبــات فــى المستحلبات التى يتكون منها الغشاء السيتوبلازمى.

التغذية المعدنية للنبات

أمكن معرفة العناصر اللازمة لتغذية النبات وذلك عن طريق استخدام المزارع الرملية والمائيــة. ووجــد أن العناصر التي ثبت أن النبات يعاني نقصاً في النمو عند غياب واحد أو أكثر منها هي:

الكربون ــ الأيدروجين ــ الأكسوجين ــ النيتروجين ــ الفوسفور ــ البوتاسيوم ــ الكبريت ــ الكالسيوم ــ المغنسيوم ــ الحديد. ويسمي بالعناصر الكبرى. هذا بالإضافة إلي بعض العناصر الأخرى الأساســية لحيــاة النبات ولكنه يحتاجها بكميات بسيطة جداً ومنها: البورون ــ المنجنيز ــ الزنك ــ النحاس ــ الموليبــدنم ــ الكلور ويطلق عليها العناصر الصغرى.

شروط العنصر الأساسي:

يكون العنصر أساسياً في تغذية النبات في الحالات التالية:

- **لا يستطيع النبات إكمال دورة حياته كاملة في غياب هذا العنصر.**
- **لا يمكن تعويض غياب هذا العنصر بعنصر آخر.**
- **لابد وأن يكون له دور مباشر في التحولات الغذائية ويكون تأثره مباشر علي النبات.**
- **لابد وأن يكون الإحتياج لهذا العنصر واسع الإنتشار وعلي مستوي عدد كبير من النباتات والأنواع.**

أهمية العناصر المعدنية للنبات:

- **تلعب دوراً مهماً في الحفاظ علي الضغط الإسموزي للخلايا.**
- **تدخل في تركيب مكونات الخلايا.**
- **تلعب دوراً في تنظيم درجة PH في الخلية وذلك بتفاعلها مع الأحماض الموجودة بالخلية.**
- **تلعب دوراً في إحداث التضاد وحماية الخلية من السمية.**
- **تنشيط الإنزيمات مثل العناصر الصفري.**
- **تعمل كمصادر للطاقة.**

الدور الذي تقوم به العناصر المعدنية في حياة النبات وأعراض نقصها

أولاً: العناصر الكبرى

١ ـ النتروجين

- يدخل في تكوين الأحماض الأمينية والبروتينات والبروتوبلازم.
- يدخل في تركيب الكلوروفيل والقلويدات والإنزيمات والأحماض النووية.
- يمتص في صورة نشادر أو أمونيا ويضاف للمحاصيل ما عدا البقوليات.
- من أهم أعراض نقصه إصفراراً الأوراق ونقص النمو وصغر حجم السوق والجذور.
- الأوراق السفلي أكثر إصفراراً من العليا في حالة نقص العنصر كما يقل معدل التنفس والبناء الضوئي.

٢ ـ الفوسفور

- يشترك في تركيب المركبات الغنية بالطاقة.
- يدخل الفوسفور في تركيب مشتقات الدهون والبروتينات النووية ويعمل كمرافق إنزيمي لبعض الإنزيمات.
- يتواجد بنسبة عالية فى البذور والثمار.
- من العناصر المتحركة داخل النبات مثل النتروجين ولذلك يوجد بكثرة في الأنسجة المرستيمية.
- يعمل الفوسفور علي الإسراع في عملية الإزهار بينما النتروجين يؤخر الإزهار.
- من أعراض نقصه: صغر حجم النبات والأوراق والتي تأخذ لوناً قاتماً وقد يظهر اللون القرمزي علي الأعناق والعروق وقد تظهر بقع قرمزية أو بنية علي نصل الورقة وهذا اللون يرجع لتراكم صبغة الأنثوسيانين.
- غالباً يوجد في صورة غير صالحة وغير ذائبة في الأراضي المصرية حيث الوسط القلوي أما في الأراضي الحمضية فيمكن الإستفادة بالفوسفور الموجود بها.

٣ـ البوتاسيوم

- **من العناصر المتحركة ويوجد بنسبة عالية في الأطراف النامية لكل من الجذر والساق والأوراق.**
- **له دور هام في بناء السكريات والنشا ورفع الضغط الإسموزي للخلايا.**
- **منظم لعملية فتح وغلق الثغور.**
- **من أهم أعراض نقصه: إحتراق حواف الأوراق وتشتد هذه الأعراض علي الأوراق السفلية. ويظهر النبات ضعيفاً وقصيراً وأوراق أشجار الفاكهة تتلون باللون الإرجواني وتحتــرق حوافهــا والأوراق المسنة مجعدة ومكرمشة.**
- **يتوفر بالأراضي المصرية ولكن الأراضي الرملية فقيرة في محتواها من البوتاسيوم.**

٤ـ الكبريت

- **يدخل في تكوين البروتينات والأحماض الأمينية سستين وميثيونين وجلوتامين والمرافقات الإنزيمية (أستيل كو أ).**
- **يدخل في تكوين السيتوكروم وفيتامين الثيامين والبيوتين.**
- **يدخل في تكوين المواد الطيارة مثل زيت الخردل والثيوكبريتات في البصل والثوم.**
- **له علاقة ببناء الكلوروفيل وتنشيط إنزيم إختزال النترات.**
- **أعراض نقص الكبريت مثل النتروجين إلا أنها تظهر علي الأوراق الحديثة.**

٥ـ الكالسيوم

- **يدخل في تركيب الصفيحة الوسطي للخلية مع المواد البكتينية.**
- **ضروري لعمليات الإنقسام الغير مباشر.**
- **يعادل التأثير السام لحمض الأوكساليك ويترسب في صورة بللورات من أوكسالات الكالسيوم.**
- **له دور هام في عمليات تحويل النشا إلي سكريات والعكس.**
- **من العناصر الغير متحركة (ساكن) في النبات ولذلك تبدو أعراض نقصه علي الأوراق العليا والقمة النامية.**

- يتحكم في النفاذية الإختيارية للغشاء الخلوي.
- منظم لعملية التنفس وتكوين الميتوكوندريا ومنشط لإنزيمات الفوسفاتيز والكينيز.
- إحتراق حواف الأوراق وتصبح الأوراق غير منتظمة وتموت القمم النامية للسوق وتموت البذور أو تكون ضعيفة التكوين وتموت الأوراق مبتدئة بالأوراق العليا متجهة للقاعدة.
- نقص هذا العنصر يؤدي إلي ظهور أعراض التسمم بالمغنسيوم لزيادة إمتصاص النبات للعنصر الأخير.

٦ـ المغنسيوم

- يدخل في تكوين الكلوروفيل.
- له دور هام في عملية البناء الضوئي وبناء الكربوهيدرات وبدونه لا تحدث عملية البناء الضوئي.
- ينشط الإنزيمات المصاحبة لتمثيل الأحماض النووية **RNA & DNA** .
- وجوده ضروري لتنشيط إنزيمات كالفن وخاصة **PEP-casboxylase RUBP-Carboxylase &**. وكذلك ينشط إنزيمات البروتين.
- نقص هذا العنصر يؤدي إلي إصفرار النصل بينما تظل العروق خضراء.
- نادراً ما تظهر أعراض نقص هذا العنصر في الأراضي المصرية ولكنها تظهر في حالة الأراضي الجيرية التي تحتوي علي نسبة عالية من الكالسيوم أو الأراضي الحامضية أو المسمدة بالنترات.

٧ـ الحديد

- يعتبر الحديد عنصراً أساسي ولكن بتركيزات منخفضة.
- مهم جداً لتكوين الكلوروفيل ولو أنه لا يدخل في تركيبه.
- يدخل في تركيب إنزيمات الأكسدة (الأوكسيديزات والبيروكسيديزات) والسيتوكروم.
- من أهم أعراض نقص هذا العنصر: إصفرار الأوراق الحديثة بينما الأوراق المسنة تبدو طبيعية وهذا يدل علي أن الحديد من العناصر الساكنة غير المتحركة في النبات.

- تكثر أعراض نقص الحديد في الراضي القلوية فيوجد في صورة غير صالحة للإمتصاص ويعمل وجود النحاس والمغنسيوم علي خفض معدل إمتصاص الحديد وذلك لحدوث ظاهرة التضاد.

ثانياً: العناصر الصغرى

١ ـ البورون

§ له دور مهم في تكوين الهرمونات وأيض الدهون وهو عنصر ساكن.

§ يعمل كمنظم لمعدل الإمتصاص وفقد الماء وإمتصاص النتروجين.

§ له دور مهم في تكوين العقد الجذرية في النباتات البقولية.

§ له دور مهم في تكوين العقد الجذرية في النباتات البقولية.

§ نقصه يؤدي إلي تشوه الأطراف النامية وموت قواعد الأوراق. وتشقق السيقان وتصبح الأوراق قصيرة وسميكة وسهلة التكسير وتتلف الثمار ويظهر عن نقصه أيضاً ظاهرة تعفن القلب في بنجر السكر والقلب البني في اللفت وتشقق ساق الكرفس.

٢ ـ النحاس

§ يدخل في تركيب كثير من إنزيمات الأكسدة والإختزال.

§ هذا العنصر سام للنبات ولكن ظاهرة التضاد وخاصة في التركيزات المنخفضة تخفف كثيراً من حدة السمية لهذا العنصر.

§ كثيراً ما استخدم كمبيد فطري وكذلك للتخلص من الطحالب في المياه الراكدة.

§ نقصه يؤدي إلي إصفرار الأوراق في النجيليات وذبولها وعدم ظهور الأعراض علي الأوراق السفلي.

٣ ـ الزنك

§ عامل مساعد في تفاعلات إنزيمات الأكسدة والإختزال.

§ عامل مساعد في تفاعلات الأوكسينات.

§ يلعب دوراً هاماً في تكوين الأحماض النووية والبروتينات.

- § تظهر أعراض نقصه في أشجار الفاكهة حيث تتشوه الأوراق وتصبح صغيرة ورفيعة والساق قصيرة وتسقط الأزهار قبل تفتحها.

٤. المولبدينم

- § يلعب دوراً هاماً في تحول النترات إلي أمونيا داخل الخلية تمهيداً لعملية بناء الأحماض الأمينية والبروتينات.
- § مهم في تثبيت النيتروجين الجوي بواسطة بكتيريا الرايزوبيوم.
- § من أعراض نقصه إحتراق الأوراق (والتي تتشابه مع أعراض نقص كل من النحاس والزنك) فتظهر بقع بنية علي الأوراق وتموت حوافها وسقوط الأزهار.

٥. المنجنيز

- § عامل مساعد في تفاعل الضوء في عملية البناء الضوئي.
- § يدخل في تركيب الإنزيمات ويعمل كمرافق إنزيمي لإتمام عمليات الأكسدة والإختزال.
- § يساعد في عملية إنقسام البلاستيدات الخضراء.
- § أهم أعراض نقصه إصفرار الأوراق مع بقاء العروق خضراء وعد إزهار النباتات.

٦. الكلور:

- § عامل مساعد في عملية التحلل الضوئي للماء في تفاعل الضوء في عملية البناء الضوئي.
- § أعراض نقصه تشبه إلي حد كبير أعراض نقص المنجنيز.

هذا بالإضافة إلي بعض العناصر الأخرى التي قد يحتاجها نبات معين فلقد وجد بعض العلماء أن:

- o عنصر الصوديوم يكون أساسياً لنمو بعض الطحالب البحرية وخاصة الطحالب الخضراء المزرقة وفي النباتات الراقية يحل الصوديوم محل البوتاسيوم.
- o عنصر السليكون يكون مهماً لنمو نباتات الأرز والبنجر والشعير وعباد الشمس.
- o الألمونيوم يحسن نمو بعض النباتات إلا أنه معروف بسميتة أكثر من نفعه.

- **الجاليوم من المشكوك فيه أن أى نبات يحتاج إلى جاليوم إلا أن بعض العلماء أوضح أحتياج نبات عدس الماء لهذا العنصر.**
- **الكوبلت وهو مكون لفيتامين B_{12} ويحتاجه القليل من الطحالب الخضراء المزرقة إلا أنه يعتبر سام للنباتات.**

دراسة نقص العناصر اللازمة للنبات

يمكن الإستدلال على نقص عنصر معين عن طريق الدراسات التالية:

أولاً: دراسة أعراض نقص عنصر معين على مظهر النبات بالحقل

نتيجة لنقص عنصر معين يبدو النبات غير طبيعياً (مرض فسيولوجى) وتظهر علية أعراض مرضية مثل الإصفرار وتجعد الأوراق وإحتراق حوافها وتساقط الأزهار وقصر الساق. وقد سبق ذكر أعراض نقص كل عنصر عند تناوله سابقاً.

ثانياً: التحليل الكيماوى للتربة

تحتوى التربة على نوعين من الأملاح هما:

- **نوع صالح وهو متيسر للنبات الحصول علية وفى صورة ذائبة ويشمل جميع الأملاح الذائبة ويحصل علية بسهولة.**
- **نوع غير صالح ويشمل الأملاح الغير ذائبة أو صعبة التحلل وهذه النوعية عند تحللها البطيء يمكنها التحول إلى الصورة الذائبة.**

وتحليل التربة يعطى صورة عن نقص عنصر معين فى التربة ويتضح من التحلل أن العنصر قد يكون غائباً أو موجوداً ولكن فى صورة غير صالحة (غير ذائب) لإفادة النبات بصورة مباشرة.

ثالثاُ: الإختبارات البيولوجية على التربة

ويجرى هذا الإختبار لإكتشاف مدى قدرة هذه التربة على نمو بعض النباتات فيتم مثلاً إنماء بعض الأحيـــاء الدقيقة مثل الأزوتوباكتر أو نمو بادرات بعض النباتات. ويدل نمو هذه البادرات على مدى كفاءة هذه التربة على إمداد النبات بحاجته من المواد الغذائية الأساسية اللازمة لحياته.

رابعاً: الإختبارات الكيماوية على الأنسجة النباتية

بتحليل أنسجة النبات يمكن تحديد العنصر الناقص فى التربة.

الـــمزارع الغـــذائية

تزرع النباتات بدون إستخدام التربة الطبيعية كبيئة للنبات فقد تزرع أما فى المحاليل الغذائية مباشرة أو فى رمل نقى ونظيف وتروى بالمحاليل الغذائية. فإذا اتبعت الطريقة الأولى سميت مزارع مائية أمـــا إذا اتبعـــت الطريقة الثانية سميت مزارع رملية.

ـ المزارع المائية

- **تستعمل أوانى زجاجية نظيفة وتغسل بحمض الكروميك ثم بالماء العادى ثم بالماء المقطر عدة مـــرات لإزالة جميع الأيونات الملوثة للزجاج.**
- **الأملاح المستخدمة فى المحلول الغذائى يجب أن تكون نقية جداً.**
- **تغطى الأوانى الزجاجية بورق أسود من الخارج لتحجب الضوء عن جذور النباتات.**
- **تغطى الأوانى بغطاء مثقب من الفلين بعد تغطيتة بطبقة ن الشمع لتعمل على حمل وتدعيم النبات.**
- **لكى تتمكن الجذور من النمو وإمتصاص المواد الغذائية من الماء فلابد لها من التنفس وهذا لا يتـــوفر إلا بالتهوية الجيدة والمستمرة وذلك بدفع الهواء على صورة فقاعات فى المزرعة.**
- **لابد من تغيير الحلول كل فترة وذلك أن المحلول يتغير وذلك لإمتصاص العناصـــر بدرجـــة أكبـــر مـــن الأخرى فيختل التوازن الأيونى بالمحلول والذى قد يصبح ساماً بعد فترة.**

الإنزيمات Enzymes

- **الإنزيمات هى عوامل مساعدة عضوية يمكنها المساعدة فى إتمام العديد من التفاعلات الكيموحيوية بصورة منتظمة وبدون حدوث أى إضطراب فى الخلايا النباتية.**
- **يتركب الإنزيم من جزء رئيسى من البروتين وبسبب هذا الجزء البروتينى يتحدد تخصص الإنزيم ويرتبط هذا الجزء البروتينى بجزء أخر غير بروتينى يطلق عليه قرين الإنزيم أو المرافق الإنزيمى Co-enzyme. كما تحتاج بعض الإنزيمات إلى أيونات عناصر معدنية خاصة لينشط عملها.**

تتميز الإنزيمات بالعديد من الخواص التى أهمها

ــ أنها نشطة بكميات صغيرة للغاية.

ــ تظل كما هى دون أن تتأثر بالتفاعلات ولذلك فهى عوامل مساعدة.

ــ الإنزيم لا يغير من حالة الإتزان للتفاعل ولكنه يسرع التفاعل للوصول إلى حالة الإتزان بمعدل سريع للغاية.

ــ الإنزيمات متخصصة فى عملها فالإنزيم الذى يحفز تفاعلاً قد لا يحفز تفاعل آخر.

- **الإنزيمات تعمل على تخفيض طاقة التنشيط للتفاعل. فإن التفاعل العادى لابد له من طاقة لتنشيطة كالتسخين مثلاً والإنزيمات تعمل على تقليل طاقة التنشيط.**

العوامل التى تؤثر على نشاط الإنزيمات

١ ــ تركيز كل من الإنزيم ومادة التفاعل

زيادة تركيز مادة التفاعل يؤدى إلى زيادة فى معدل تحفيز الإنزيم للتفاعل. أما إذا زاد تركيز مادة التفاعل عن حد معين فلن يكون لها تأثير على سرعة النشاط الإنزيمى وذلك لإنشغال كل مراكز الإنزيم النشطة بمادة التفاعل أصلاً.

٢ ــ درجة الحرارة

يرفع درجة الحرارة (١٠ ْم) تزداد سرعة التفاعل الإنزيمى من ٢ ــ ٣ مرات وذلك فى المدى الحرارى الملائم لعمل الإنزيم وذلك لزيادة الطاقة الحركية لكل من الإنزيم ومادة التفاعل وزيادة الأجزاء النشطة فى الجزيئات المتفاعلة وكذلك سرعة تفكك معقد الإنزيم ومادة التفاعل.

الإرتفاع الشديد لدرجة الحرارة يفقد الإنزيم خواصة ويبدأ هذا الفقد عند حوالى ٣٠ ْم ويكون الفقد كاملاً عند ٦٠ ْم.

٣ ــ تركيز أيون الهيدروجين pH

لكل إنزيم درجة مثلى وقصوى وصغرى تؤثر على نشاطه وتختلف الإنزيمات فيما بينها بدرجة الحموضة المثلى. كما أن الإرتفاع أو الإنخفاض الشديد فى pH يؤثر على طبيعة الإنزيم نفسه.

٤ ــ ناتجات التفاعل

تراكم نواتج التفاعل وزيادة تركيزه يؤدى إلى تثبيط عمل الإنزيم نفسه إلى درجة أن يحدث إنعكاس للتفاعل بدرجة كبيرة عن التفاعل الأصلى.

٥ ــ المثبطات

يقل النشاط الإنزيمى أو يتوقف بسبب تداخل بعض المواد العضوية أو الغير عضوية مثل كاتيونات العناصر الثقيلة.

*** النوع الأول من المثبطات يسمى مثبطات تنافسية حيث لا يتنافس الجزىء المثبط على مراكز الإنزيم النشطة ولكنه يتفاعل مع جزء من الإنزيم لا يشترك فى التفاعل.**

تسمية وتقسيم الإنزيمات

- **تسمى الإنزيمات تبعاً لمادة التفاعل ويضاف المقطع ase لإسم مادة التفاعل مثل الأرجينيز Arganase مادة تفاعله هى الأرجينين وإنزيم تيروسينيز Tyrosinase ومادة تفاعله هى السيتروسين.**
- **قد تقسم الإنزيمات إلى مجاميع تحمل أسماء تدل على مجاميع المركبات التى تتفاعل معها الإنزيمات مثل Proteinae & Lipase & carbohydrase.**

§ قد تقسم الإنزيمات تبعاً لنوع التفاعل الذى تحفزه الإنزيمات مثل إنزيمات التحلل المائى (هيدروليزات) **Hydrolases** وإنزيمـــــات الأكســـــدة (أوكســـيديزات) **oxidases** وإنزيمـــــات الفســـفرة **phosphorylases**.

حديثاً أمكن إتباع نظام دقيق لتقسيم الأنزيمات فأمكن تقسيمها إلى:

- ــ إنزيمات ناقلة **Transferases**
- ــ إنزيمات التحلل المائى **Hydrolases**
- ــ إنزيمات التشابه **Isomerases**
- ــ إنزيمات الفسفرة **phosphorylases**
- ــ إنزيمات الكربكسلة **Carbaxylases**
- ــ إنزيمات الإيبميريز **Epimerases**
- ــ إنزيمات الأكسدة والإختزال.

*** الإنزيمات الناقلة**

وهذه الإنزيمات تختص بنقل مجموعة الأمين مثل **Transaminase** نقل مجموعة الفوسفات مثل **Kinase** وإنزيمات **Mutase** وتنقل المجموعة داخل نفس الجزىء.

*** إنزيمات التحلل المائى**

مثل إنزيمات تحلل رابطة الأستر **Estrase** مثل إنزيمات تحلل الدهون ــ إنزيمات تحلل الروابط البيتيدية ــ إنزيمات تحلل الرابطة الجليكوزيدية مثل تحلل الكربوهيدرات إنزيمات تحلل مجاميع الفوسفات.

*** إنزيمات التشابه**

وهى الإنزيمات التى تغير أحد مشابهات مركب إلى المشـــابه الآخـــر مثـــل إنـــزيم فســـفوجلوكوايزوميريز **phosphoglucoisomerase** الذى يحول سكر الجلوكوز إلى فراكتوز.

*** إنزيمات الفسفرة**

وهى تشبه إنزيمات التحلل المائى إلا أنها تضيف حمض الفوسفوريك بدلاً من عنصر الماء إلى المركب.

*** إنزيمات الكربكسلة**

وهى التى تقوم بنزع أو إضافة CO_2 مثل إنزيم **Decasboxylase**

*** إنزيمات الإيبميريز**

تقوم بتحويل الجزىء إلى مشابه apimer مثل الإنزيم الذى يقوم بتحويل زيليولوز إلـى ريبيولـوز فهـى مشابهات لجزئ واحد ولكنها تختلف فى تناسق ذرة كربون واحدة فقط.

*** إنزيمات البناء: Ligases وتعمل على ربط جزيئين معاً.**

*** إنزيمات الأكسدة والإختزال: وهى تعمل علـى إضـافة أو إزالـة الهيـدروجين أو الأكسـوجين أو الألكترونات إلى مواد التفاعل ومن أمثلتها ديهيدروجينيز ــ أكسيديز ــ بيروكسيديز ــ أوكسيجينيز.**

تتوزع الإنزيمات فى الخلايا النباتية كالتالى:

١ ــ إنزيمات عملية النسخ والترجمة الخاصة بناء البروتين تتركز على سطح الريبوسومات وفى النواه.

٢ ــ إنزيمات دورة كربس تتركز فى الميتوكوندزيا.

٣ ــ إنزيمات البناء الضوئى والسيتوكرومات تتركز فى البلاستيدات الخضراء.

٤ ــ إنزيمات التحلل الجليكولى وإنزيمات مسلك الهكسوز أحادى الفوسفات ــ إنزيمات التحلـل المـائى ــ إنزيمات الفوسفوزيليز تتركز فى السيتوبلازم.

٥ ــ الإنزيمات الهاضمة تقع خارج الخلية.

البناء الضوئى photosynthesis

يقصد بعملية البناء الضوئى اختزال CO_2 إلى مستوى الكربوهيدرات بواسطة الكلوروبلاست فى وجود الماء الضوئى حيث يقوم الضوء بتوفير الطاقة اللازمة لعملية تحويل CO_2إلى كربوهيدرات تبعاً للمعادلة:

$$6CO_2+12H_2O \xrightarrow[\text{Chloroplast}]{\text{light}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2+6H_2O + 675\ \text{k.Cal.}$$

ولقد أسهم العديد من العلماء التوصل إلى حقيقة التفاعلات التى تتم خلال عمليـــة البنـــاء الضـــوئى وكـــان أفضلهم العالم Blackman (1905) حيث توصل بالأدلة إلى أن عملية البناء الضوئى ليست تفاعـــل كيمـــو ضوئى فقط photo chemical reaction بل تشمل تفاعل كيموحيوى أيضـــاً biochemical reaction. ومن المعروف أن التفاعلات الكيموضوئية سريعة الغاية وتلزمها الطاقة الضوئية على العكس من التفاعلات الكيموحيوية (تثبيتCO_2) والتى تسير بمعدل بطئ.

وفى عام (1937) أقام العالم hill الدليل على أن الكلوروبلاســت المعزولـــة والمعرضـــة للضـــوء والمـــاء ومستقبل مناسب للهيدروجين تمكنت من انبعاث غاز O_2 وذلك فى غياب CO_2 وهذا دليـــل علـــى حـــدوث تفاعلات كيموضوئية وكذلك مصدر O_2 هو الماء وليس CO_2.

تحتوى النباتات الخضراء على صبغات البناء الضوئى التى تتأثر بالأشعة الضوئية. ونتيجة لاســـتجابة هـــذه الصبغات للضوء يتمكن النبات من القيام بعملية البناء الضوئى.ويجب معرفة أن الضوء هو المهم فى عملية البناء الضوئى. ويمكن تصور أن الشعاع الضوئى يشبه تياراً من الجسيمات المتناهية فى الصغر ويسمى كل جسيم فوتون photon وعند اصطدام هذه الجسيمات بالكلوروفيل تنتقل طاقتها الضـــوئية إلـــى الكترونـــات الكلوروفيل وبذلك تدفع جزيئات الكلوروفيل إلى إحداث التفاعل الكيمائى الضوئى. والطاقـــة التـــى يحتويهـــا الفوتون تسمى كوانتم Quantum.

صبغات البناء الضوئى photosynthetic pigments

يعتبر الكلوروفيل أهم أنواع الصبغات النباتية فى عملية البناء الضوئى فهو يمتص الطاقة الضوئية ويحولها إلى طاقة كيماوية صالحة لأن تدفع الخلية لبناء المواد الكربوهيدراتية. ويوجد الكلوروفيل فى البلاستيدات الخضراء مرتبطاً بالبروتين ولا يذوب الكلوروفيل فى الماء ولكنه يذوب فى المذيبات العضوية مثل الاستيون ، الأثير ، الميثانول. ولقد وجدت أنواع عديدة من الكلوروفيل أهمها فى النباتات الراقية كلوروفيللات (أ) وكلوروفيل (ب) ونسبة الأول إلى الثانى غالباً 1:3 ولونهما أخضر.

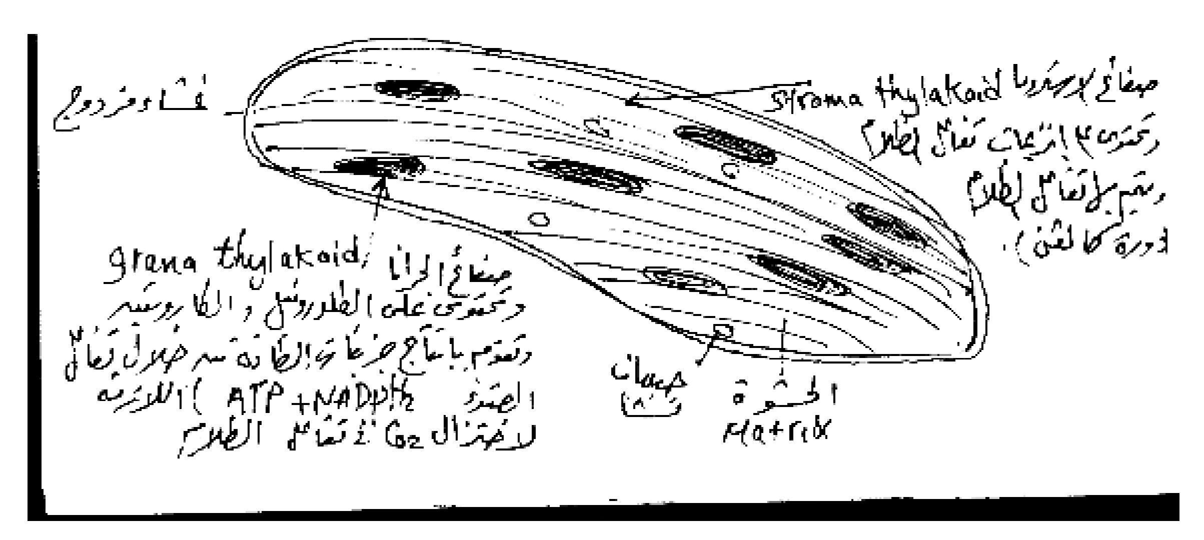
كما توجد صبغات أخرى يميل لونها إلى الأصفر تسمى الكاروتين والزانثوفيل وهذه الصبغات لها دور مساعد فى عملية البناء الضوئى حيث تقوم بامتصاص والتقاط الطاقة الضوئية ثم تنقلها إلى صبغات الكلوروفيل. كما تقوم أيضاً بدور رئيسى فى حماية الكلوروفيلات من عمليات الأكسدة الضوئية وخاصة فى الضوء الساطع.

ويتم تخليق جزئ الكلوروفيل من خلال عدة خطوات تبدأ باتحاد أحد المركبين الفا-كيتوجلوتاريك α-ketoglutaric acid أو سكسينيل كوأ succinyl co A مع الحمض الأمينى جليسين glycein لتكوين المركب ALA حمض الفا أمينو لفيولينيك. وتنتهى التفاعلات بتكوين مركب رباعى البيرول. ويتوسط حلقات البيرول ذرة المغنسيوم Mg. كما يحتوى الكلوروفيل على مجاميع جانبية على حلقات البيرول. كما يحتوى على حمض الفيتول. ويتواجد الكلوروفيل مرتبطاً بالبروتين فى صفائح الجرانا داخل البلاستيدة الخضراء.

الرمز الجزيئى لكلوروفيل أ	$C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$
الرمز الجزيئى لكلوروفيل ب	$C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$
الرمز الجزيئى للكاروتين	$C_{40}H_{56}$
الرمز الجزيئى للزانثوفيل	$C_{40}H_{56}O_2$

* تركيب الكلوروبلاست chloroplast

بفحص الكلوروبلاست بالمجهر الإلكترونى يتضح تواجد الغشاء الخارجى المزدوج والــذى يحــوى بداخلــه نوعين من الصفائح. الأول منها تسمى صفائح الجرانا وتحتوى على صبغات البناء الضوئى والثــانى منهــا تسمى صفائح الاستروما وتحتوى على إنزيمات تفاعل الظلام.



ويمكن الإشارة إلى أن البلاستيدة أو جزء منها يكون قادراً على القيام بعملية البناء الضوئى ويمكــن أيضــاً الإشارة إلى أن أصغر جزء من البلاستيدة يستطيع القيام بعملية البناء الضوئى هذا الجزء لابد من احتوائــه على ٤٠٠ جزىء كلوروفيل على الأقل ويسمى هذا الجزء quantasome كوانتاسوم أو الوحــدة الضــوء تمثيلية.

* محصول أو غلة الكوانتم Quantum yield

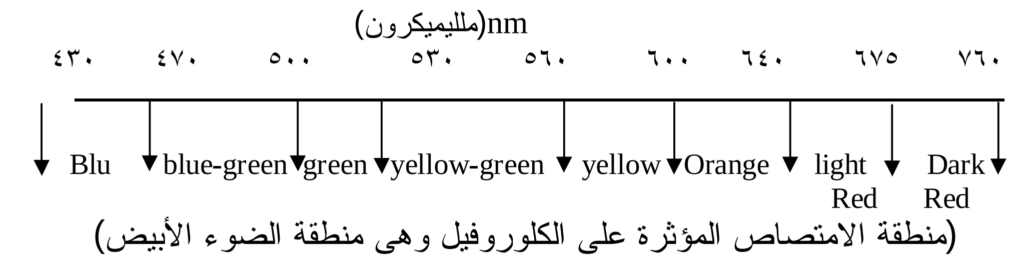
تمكن العالم أيمرسون Emerson من حساب غلة أو إنتاج الكوانتم والمقصود بها عدد جزئيات الأكســوجين المنطلقة فى عملية البناء الضوئى لكل كوانتم ممتص. ولاحظ العالم Emersonانخفاض محصول الكــوانتم انخفاضاً مقبولا عند الموجات الضوئية الأطول من 680 nm والمعروف أن هذه الموجات تــدخل فــى ذروة الامتصاص الحمراء للكلوروفيل (a) وسميت هذه المنطقة بالسقطة الحمراء Red drop

*** تأثير ايميرسون Emerson effect**

أمكن لهذا العالم Emerson استخدام نوعين من الأشعة الأول منها أقصر من680nm والثانى منها أطــول من 680nm ووجد أن استعمال النوعين من الأشعة فى آن واحد يفوق ويزيد عن مجموع كل من النـــوعين من الأشعة عند استعمال كل منها بمفرده. أى أمكن التغلب على السقطة الحمراء باســـتعمال أشـــعة حمـــراء أقصر طولا من 680nm.

*** الكيمياء الضوئية للكلوروفيل photochemistry of chlorophyll**

يتأثر الكلوروفيل ويثار إذا ما تعرض للضوء الأبيض حيث يشغل الضوء الأبيض منطقة صغيرة جداً يتـــراوح أطوالها الموجية من 340nm حتى 670nm وهذه المنطقة من الأطوال الموجيـــة تشـــمل الضـــوء الأزرق (٤٧٠ ــ ٤٣٠) ، الأزرق المخضر (٥٠٠ ــ ٤٧٠) ، الأخضر (٥٣٠ ــ ٥٠٠) ، الأصفر المخضـــر (٥٦٠ ــ ٥٣٠) ، الأصفر(٦٠٠ ــ ٥٦٠) ، البرتقالى (٦٤٠ ــ ٦٠٠) ، الأحمر الفاتح (٦٧٠ ــ ٦٤٠) ، الأحمـــر القاتم (٧٦٠nm ــ ٦٧٥). بينما الأطوال الموجية الأكبر من ذلـــك أو الأصـــغر أشـــعة كهرومغناطيســـية لا يستفيد منها النبات.



(منطقة الامتصاص المؤثرة على الكلوروفيل وهى منطقة الضوء الأبيض)

عند امتصاص الكلوروفيل للأشعة الزرقاء ذات الطول الموجى (٤٣٠nm) وكـــذلك الأشـــعة الحمـــراء ذات الطول الموجى (٦٧٠nm)فإن جزئيات الكلوروفيل يحدث لها إثارة نتيجة لامتصاص هذه الطاقة الضـــوئية.

وتوجد ثلاث مستويات للإثارة يمكن أن يصل جزيئى الكلوروفيل المثار إلى أى منها وهى:

1- Second singlet state:

هذا المستوى يصل إليه الكلوروفيل عند تعرضه للضوء الأزرق(٤٣٠nm) حيث تثار جزئيـــات الكلوروفيـــل وتمتص كمية عالية من الطاقة تصل إلى k.Cal ٦٥. ومن المعروف أن هذه المرحلة عالية الطاقة ولكنها لا

تستمر طويلاً حيث تفقد الكترونات الكلوروفيل كمية من الطاقة فى صــورة انبعــاث حــرارى ويصــل إلــى المستوى التالى 1st singlet state وهو الأكثر ثباتاً نسبياً وطاقته k.Cal ٤٠.

2- 1st singlet state:

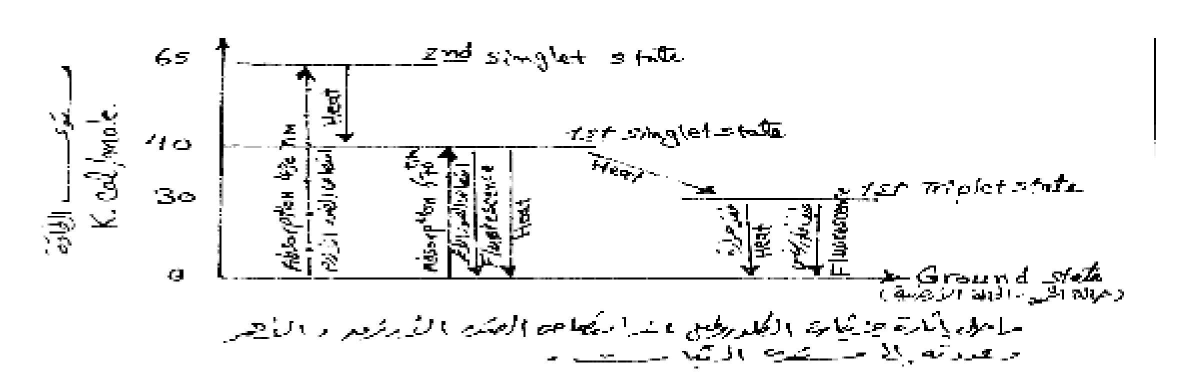
وتصل الكترونات الكلوروفيل فى محتواها من الطاقة إلى هذا المستوى إذا ما تعرضت إلى الضــوء الأحمــر (٦٧٠nm) وكما سبق ذكره أن هذا المستوى أكثر ثباتاً من المستوى السابق حيث أن هذه المرحلة قــادرة على إتمام التفاعلات الكيموحيوية بالخلية. والإلكترون المثار فى هذا المستوى هو الأكثــر أهميــة كمصــدر للطاقة فى إتمام تفاعل البناء الضوئى.

ويمكن وصول الإلكترون إلى هذا المستوى أيضاً من خلال فقده كمية من الطاقة فــى صــورة حــرارة مــن المستوى second singlet stat.

3- 1st triplet state:

وطاقة هذا المستوى حوالى ٣٠K.Cal وتصل الكترونات الكلوروفيل المثارة لهــذا المســتوى عنــد فقــد الإلكترون فى مرحلة 1st singlet stale لكمية من الطاقة فى صورة انبعاث حرارى .ويمكــن للإلكترونــات المثارة فى هذا المستوى القدرة على إتمام تفاعلات البناء الضوئى فى الكلوروبلاست وهى تفــاعلات psI & psII.

كما قد يعود الإلكترون المثار والذى طاقته فــى المســتوى 1st triplet state & 1st singlet stale إلــى المستوى Ground state وهى مرحلة الثبات وذلك بعد أن يفقد طاقته المكتسبة والتى يحملها ويفقدها فى صورة انبعاث حرارى أو ضوئى.



مراحل إثارة جزئيات الكلوروفيل عند امتصاص الضوء الأزرق والأحمر وعددته إلى مستوى الثبات

تفاعل الضوء Light Reaction

من المعروف أن عملية البناء الضوئى من خلال تفاعلين هما تفاعل الضوء وتفاعل الظلام داخل الكلوروبلاست. أما تفاعل الضوء فيتم فى صفائح الجرانا داخل الكلوروبلاست وتحتوى هذه الصفائح على صبغات البناء الضوئى. أما تفاعل الظلام فتتم خطواته فى صفائح الاستروما والتى تحتوى على إنزيمات تفاعل الظلام. وتفاعل الضوء هو الذى يقوم بإنتاج الطاقة المختزلة كمصدر للهيدروجين فى صورة $NADPH_2$ وكذلك جزئيات الطاقة ATP.وتستغل هذه الطاقة المنتجة فى عملية اختزال CO_2 كما فى التفاعلات التالية:

$H2O + NADP + ADP + Pi \longrightarrow O_2 \uparrow NADPH_2 + ATP$ (تفاعل الضوء)

$NADPH_2 + ATP + CO_2 \longrightarrow (CH_2O)n.$ (تفاعل الظلام)

وقد أمكن معرفة أن تفاعل الضوء يتضمن نظامين هما

النظام الضوئى الأول	**1-photosystem I**
النظام الضوئى الثانى	**2- photo system II**

ولكل نظام صبغاته الخاصة وكذلك الحاملات الالكترونية الخاصة به.

الصبغات والحاملات الالكترونية الخاصة بالنظام الضوئى الأول.

Ferredoxin & NADP & F.R.S & P_{700}
Chlorophylls & carotenoids & Fd-NADR- reductase
(كلوروفيلات أ بأنواعه ٦٦٠ & ٦٧٠ & ٦٨٠ & ٦٩٠ & ٧٠٠ nm)

كما يشمل النظام الضوئى الثانى كل من

P_{680} & Q & cytochrome (b) & plastoquenone & cyfochrome (f) & plastocyanine & ChlOrOlhylls وتشمل (chlorophyll (b)650 & Chl (a) 660 & Chl (a) 670 nm & Chl (a) 677 & Chl (a) 670).

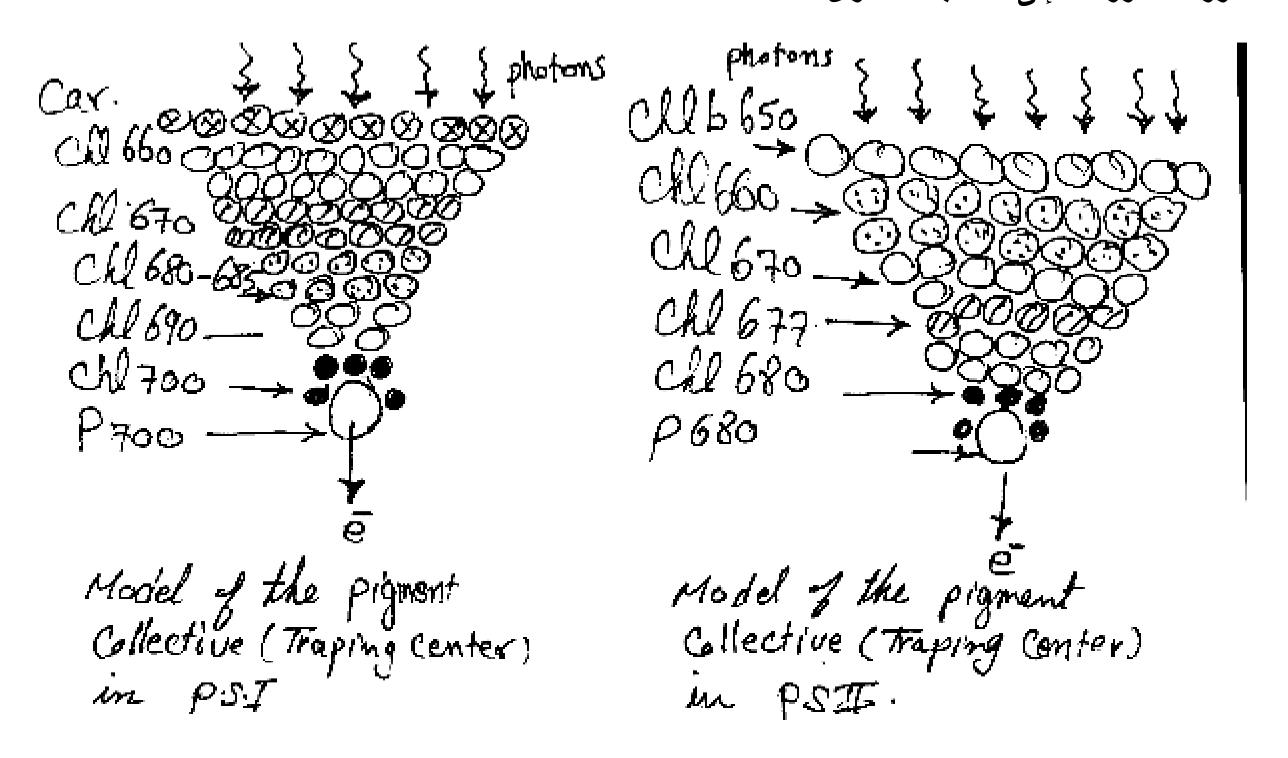
فى هذين النظامين التابعين لتفاعل الضوء أو المرحلة الكيموضوئية Photo Chemical phase من التمثيل الضوئى غنيان بصبغات الكلوروفيل والكاروتين وفى كلا النظامين فإن الصبغات تعمل على حصاد وتجميع الطاقة الضوئية ونقلها إلى مراكز النشاط الرئيسية فى كل النظامين (Reaction Centers) والتى تسمى المصايد Traps.

كوانتم Quantumالضوء الممتص بجزيء واحد من الكلوروفيل يرحل من جزيء إلى آخر وفـــى النهايـــة يستغل فى عمل كيميائي وهو تكوين $NADPH_2$ & ATP

وبمجرد أن يحدث إثارة لمراكز النشاط فى النظامين الضوئيين وهما:

P680 & (Reaction Center Of PS I) P_{700}

(Reaction Center Of PS II) فإنها تحرر الكترونات وبذلك تختزل مستقبلات الإلكترون وهذه بدورها تحرر الالكترونات إلى مستقبلات أخرى.



ويلاحظ أنه بوصول الطاقة المتجمعة كما فى الشكل إلى P_{700} فإن جزئياتها تثار فتتأكســد وينطلــق منهــا الكترونات تنتقل عبر عدة حوامل الكترونية إلى أن تصل فى النهاية إلى NADP لتكــون جزئيـــات الطاقـــة المختزلة $NADPH_2$ ومصدر الهيدروجين فى هذه الحالة هو الماء. وبالتالى فإن P_{700} أصبحت مؤكســـدة بفقدها الكترونات ويلزمها تعويض هذه الالكترونات التى فقدتها ويمكن تعويض هذه الالكترونات مـــن P_{680} وهى مركز تفاعل النظام الضوء الثانى وتنتقل هذه الالكترونات عبر عدة حوامل الالكترونية. وكـــذلك يمكـــن للصبغة ٦٨٠ تعويض ما فقدته من الكترونات من الماء والذى يحدث له تحلل ضـــوئى ويتـــأتى الإلكتـــرون والأكسوجين أما الهيدروجين فنتيجة لتكون $NADPH_2$.

ويعرف المسار الذى تسلكه الالكترونات لتكوين جزئيات الطاقة بالفسفرة الضوئية غير الدائرية

- Non -Cyclic photo phosphorylation

ـــ أما إذا تعرض الكلوروفيل لنوعية واحدة من الأطوال الموجية ولتكن الضوء الأحمر ذو الطـــول المـــوجى (700nm) فإن تحدث فسفرة ضوئية دائرية حيث يعود الإلكترون المنطلق من p_{700} مرة أخرى ولا يتكـــون $NAOPH_2$ لعدم حدوث تحلل ضوئى للماء بينما يتكون جزئيات ATP فقط. ويسمى هذا المسار

- Cyclic photo phosphorylation

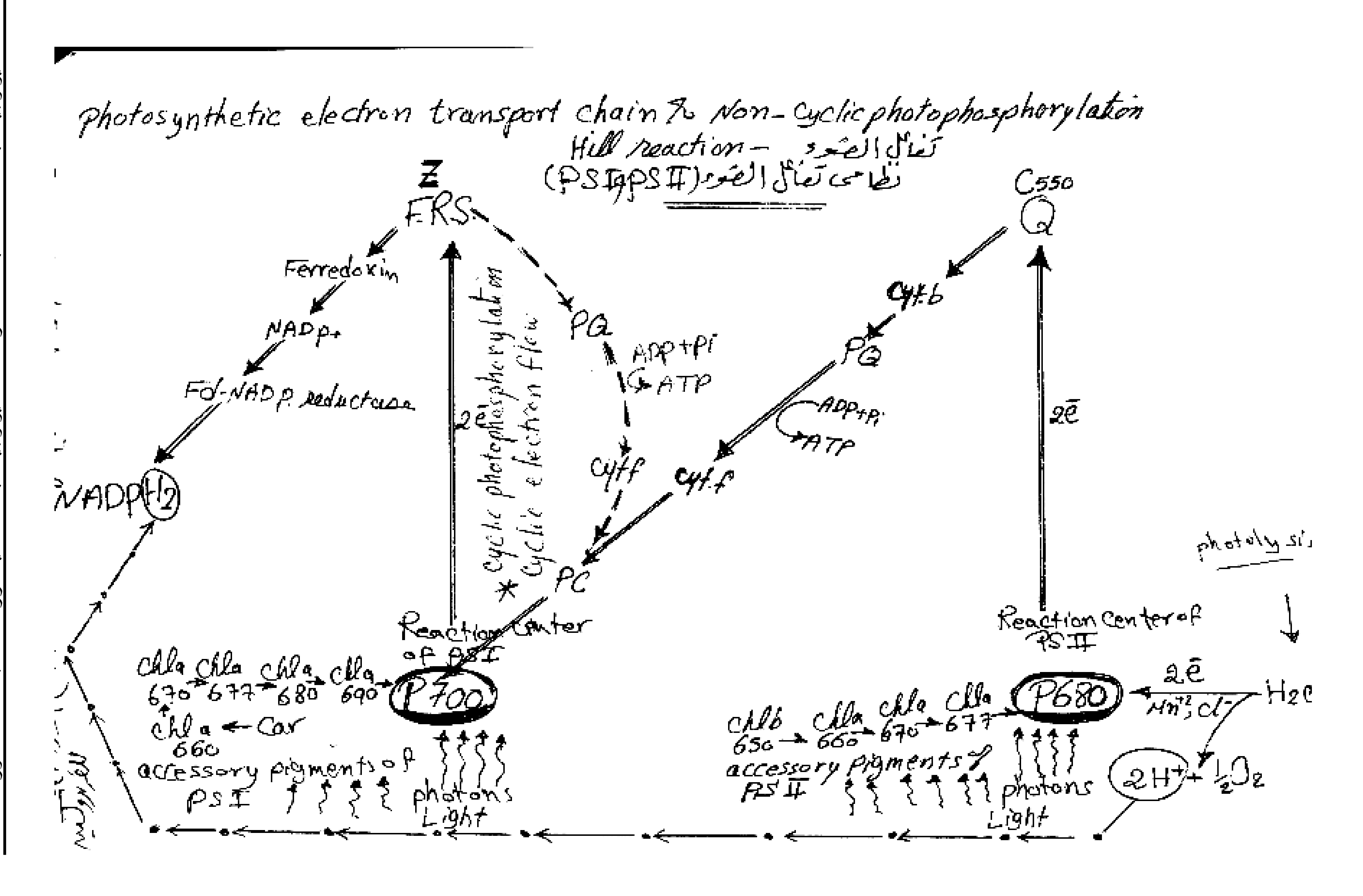
(وهذه الظاهرة لا تحدث إلا فى الظروف المعملية فقط).

مكونات سلسلة نقل الإلكترون فى نظامى تفاعل الضوء (PS I & PS II)

- **$NADP^+$ هو المستقبل النهائى للالكترونات فى سلسلة نقل الإلكترون من خلال تفاعل الضوء وهذا المركب فى صورته المختزلة ضرورى جداً لاختزال CO_2 لمستوى الكربوهيـــدرات واختـــزال هـــذا المركب NADP يحتاج لوجود كل من الفريدوكسن & Fd-NADP-reductase.**
- **Fd-NADP - reductase: هذا الإنزيم يتكون من الفلافوبروتين ويحتـــوى علـــى FAD وهـــذا الإنزيم متخصص للفريدوكسين أو NADP.**
- **الفريدوكسين Ferredoxin عبارة عن بروتين يحتوى على الحديد والكبريـــت وجهـــد الأكســـدة الاختزالية لهذا المركب منخفض. ويتم اختزال هذا المركب فى حدود الضوء.**
- **(FRS) Ferredoxin Reducing sudstances. تقوم هذه المادة باختزال الفريدوكسين وهـــو أول المستقبلات الالكترونية فى PS I.**
- **P700: وهذه الصبغة هى نوع من أنواع كلوروفيل أ والتى تمتص الضوء ذو الطول الموجى ٧٠٠ ملليمكرون. وتوجد هذه الصبغة بنسبة ٠.٢٥% من الكلوروفيل الكلى فى النباتات الراقية. وتتأكسد هذه الصبغة عند تعرضها للضوء وهى مركز التفاعل للنظام الضوئى الأول PST كما تعتبـــر هـــذه الصبغة بالوعة أو مصيدة للطاقة سواء الطاقة المباشرة من الضوء أو تلك الممتصـــة مـــن خـــلال الصبغات المساعدة والتى تنتقل إلى P700.**

- **Plastocyanin البلاستوسيانين عبارة عن بروتين مرتبط بالنحاس وتوجد هــذه المــادة بنســبة ٠.٢% من كمية الكلوروفيل الكلى ويمكن إختزالها بسهولة بالكلوروبلاست المعزولة.**
- **cytochrome (f) يوجد سيتوكروم (f) فى البلاستيدات الخضراء بنسبة ٠.٢٥% من الكلوروفيــل الكلى وموقع انطلاق ATP يكون فيما بين انطلاق الالكترون من البلاسيتوكينون وسيتوكروم (f).**
- **plastoquinon توجد مادة البلاستوكينون فيما بين نظامى تفاعل الضوء ويتم اكســدتها ضــوئياً بواسطة PS I أما اختزالها فيكون من خلال النظام الضوئى الثانى PS II وهذا المركب هو الوحيد الموجود بكمية تعادل ٥-١٠% من الكلوروفيل الكلى.**
- **Q أو C_{550} هذه المادة غير معروفة بدرجة كافية وهى تعمل كمستقبل الكتروني فى PS II ويعطى هذا المركب أعلا معدل لطيف الامتصاص عند ٥٥٠ ملليمكرون.**

وتحدث Cyclic photophosphorylation فقط عند تعريض الكلوروبلاست لموجات ضوئية طويلة فقــط أطول من ٦٨٠ ملليمكرون بحيث ينشط النظام PS I فقط ولا يتم تحلل للمــاء ولا إنتــاج O_2 ولا يســتطيع الإلكترون الاتصال للفريدوكسين.


Photosynthetic electron transport chain % Non-cyclic photophosphorylation
Hill reaction -
Z
FRS
Ferredoxin
NADP+
Fd-NADP reductase
NADPH2
2e
cyclic photophosphorylation
Cyclic electron flow
PQ
ADP+Pi
ATP
Cytf
PC
Reaction Center of PS I
Chla 670
Chla 677
Chla 680
Chla 690
P700
Chl a 660
Car
accessory pigments of PS I
photons
Light
C550
Q
Cyt.b
PQ
ADP+Pi
ATP
Cyt.f
2e
Reaction Center of PS II
P680
2e
Mn+2, Cl-
H2O
Chlb 650
Chla 660
Chla 670
Chla 677
accessory pigments of PS II
photons
Light
2H+
1/2 O2

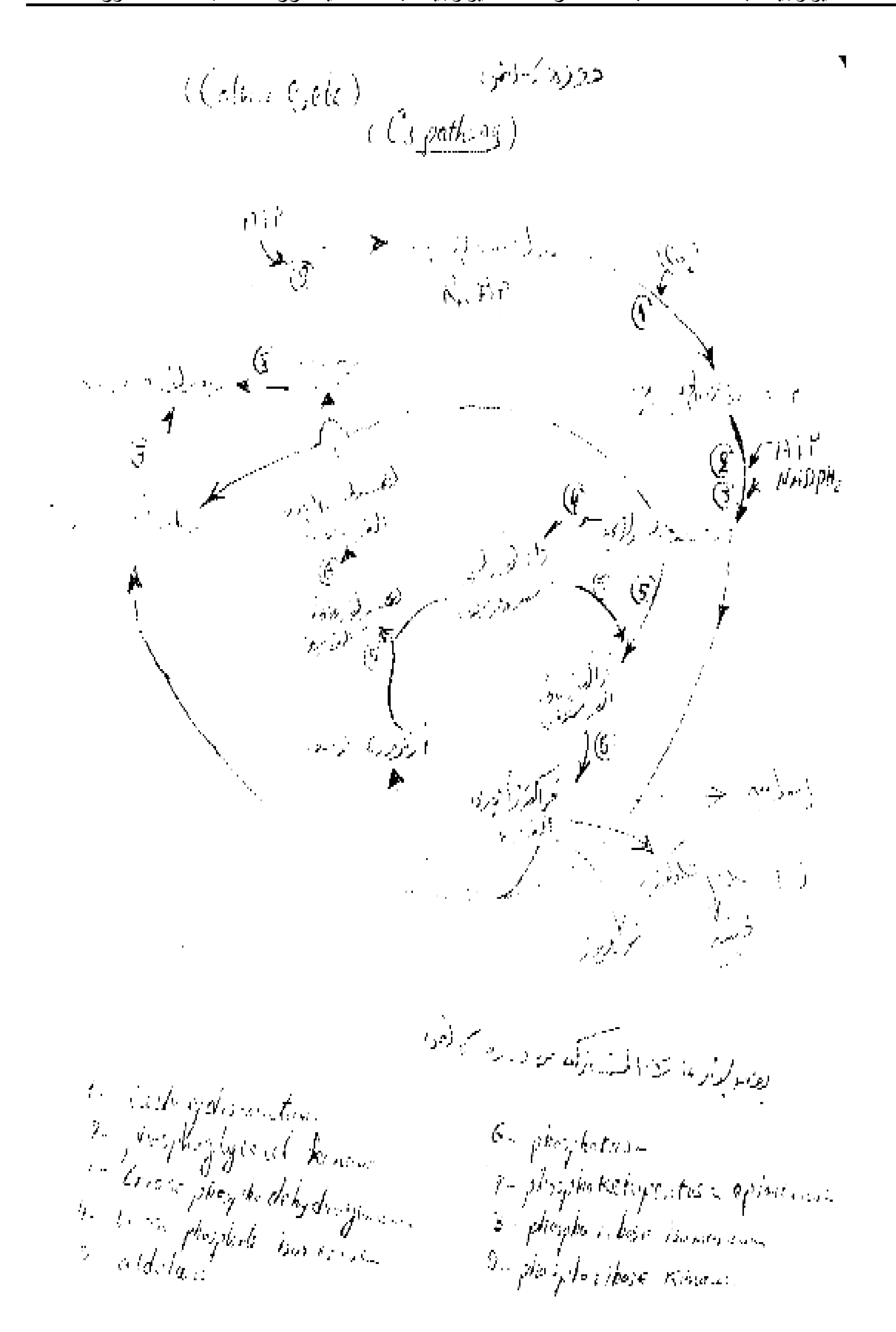
تثبيت وإختزال CO_2 (تفاعل الظلام Dark reaction)

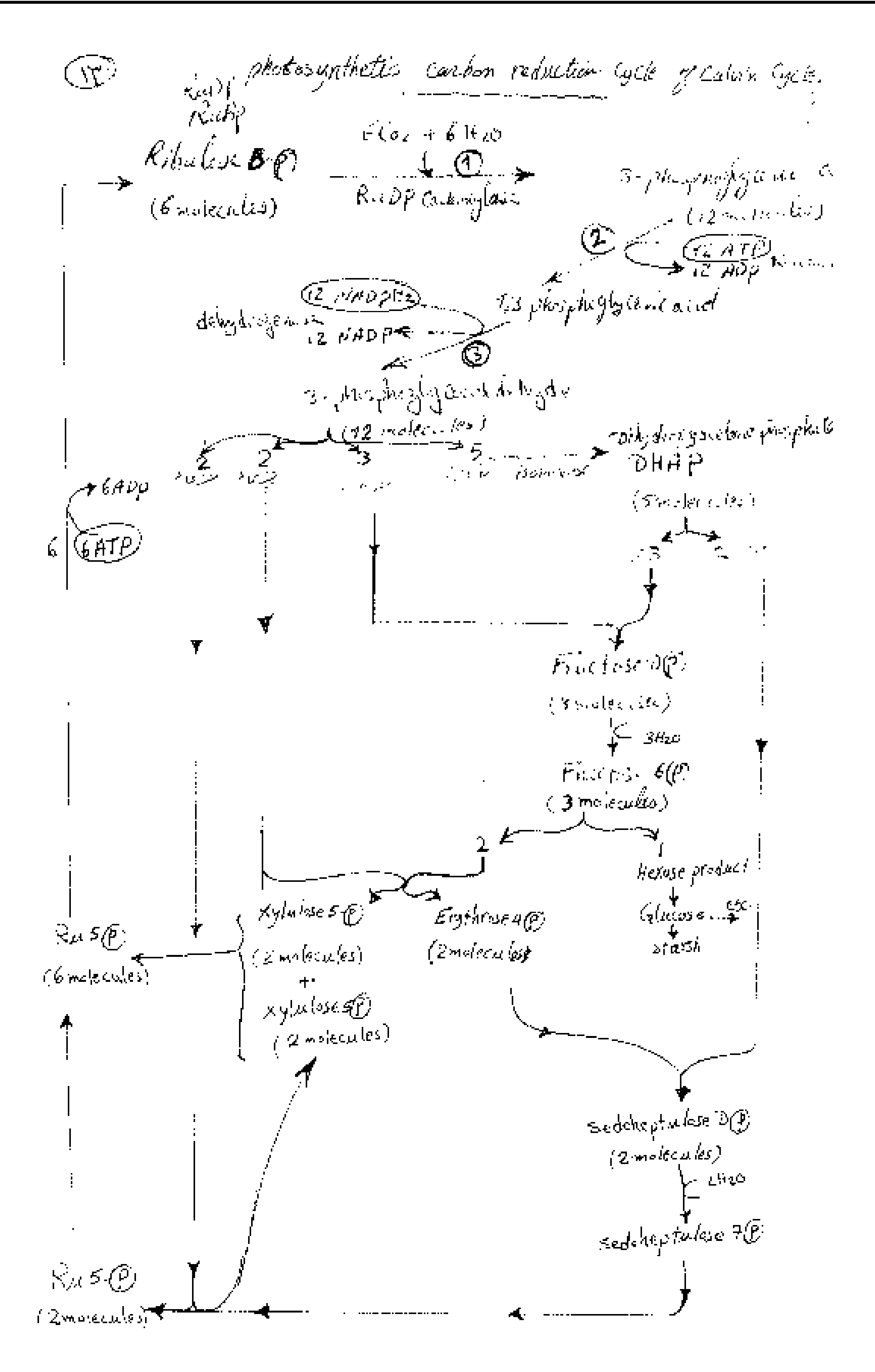
هذا التفاعل كيماوي ويتم بواسطة إنزيمات متخصصة فى صفائح الاستروما فى الكلوروبلاست. وبما أن هذا التفاعل كيماوى فإنه لا يتأثر بوجود الضوء من عدمه ولذلك فهو يتم فى الضوء أو الظلام على حد ســواء. ويتوقف نشاط هذا التفاعل على الطاقة المنتجة بواسطة تفاعل الضوء ونظاميه Ps II & Ps I . وفى هــذا التفاعل يتم اختزال CO_2 لمستوى الكربوهيدرات بواسطة $NADPH_2$ فى وجود ATP الناتجة من تفاعــل الضوء. وعند اختزال CO_2 من خلال دورة كالفن يتكون المركب (PGA) حمض الفسفوجلســريك والــذى يعتبر أول المركبات الثابتة أو الناتجة خلال تفاعل الظلام. وهذا المركب يتكون من ٣ ذرات كربــون ولــذلك تسمى النباتات التى تتم بها هذه الدورة بالنباتات ثلاثية الكربون.

أهم الخطوات التى يختزل فيها CO2 إلى سكر من خلال دورة كالفن

- **يستقبل السكر RNBP (الرايبيولوز ثنائى الفوسفات) غاز CO_2 وينتج جزئيات من PGA (حمض الفوسفوجلسريك)**
- **إختزال PGA بواسطة جزئيات الطاقة الناتجة من تفاعل الضوء إلى الســكر G-3P (جلســرلدهيد ٣ -فوسفات).**
- **يتحول السكر .G3.P الألدهيدى إلى نظيره الكيتونى DHAP (داى هيدروكس اسيتون فوســفات) وهذا التفاعل عكسى.**
- **يتحد جزئيات من السكر الثلاثية أحدهما الدهيدى والآخر كيتونى (DHAP&G.3.P) لتكون جزىء سكر الفراكتوز والذى يمكنه التحول إلى نظيره لجلوكوز.**
- **بإتحاد جزىء جلوكوز آخر واكتوز يتكون السكر الثنائى سكروز ومن الجلوكوز يتكون النشا .كمــا يمكن إنتاج عدة مركبات وسيطة والتى يتكون منها فى النهاية RuBP والذى يعمل كمستقبل للغــاز CO_2.**

والرسم التوضيحى التالى يبين خطوات اختزال CO_2 إلى مستوى الكربوهيدرات من خلال دورة كالفن.

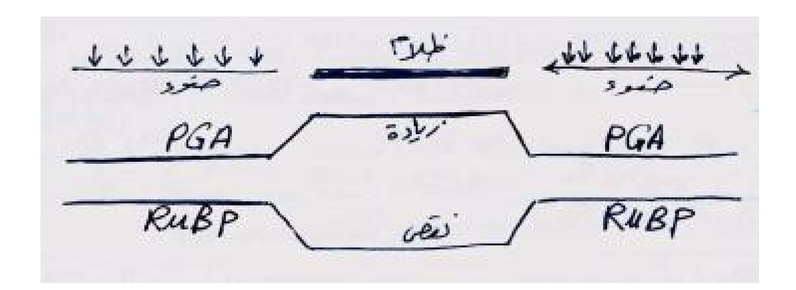

(C3 pathway)
ATP
NADPH2
6- phosphatase



$$6\,CO_2 + 12\,NADPH_2 + 18\,ATP + 11\,H_2O \longrightarrow \text{Fructose } 6(P) + 12\,NADP + 18\,ADP$$

تأثير الضوء والظلام على مستوى RuBP & PGA

عند تعريض نسيج ممثل للضوء والظلام بالتعاقب خلال عملية البناء الضوئى يلاحظ ارتفـــاع نســـبة PGA ويثبت عند مستوى معين بينما ينخفض مستوى RuGP ثم يثبت الانخفاض عنـــد مســـتوى معـــين وعنـــد تعريض النسيج البنائى للضوء مرة أخرى يتلاشى التأثير السابق.



ولتفسير ذلك أنه فى الظلام يتوقف تفاعل الضوء وبالتالى يتوقف إنتـــاج NADPH & ATP اللازمـــين لاختزال PGA وبذلك يتراكم هذا المركب لاستمرار تكوينه فى الظلام بينما يستهلك سكر الريبولـــوز RuBP لاستمرار تفاعل الظلام لذلك ينخفض تركيزه. وعند إعادة الإضاءة مرة أخرى تتكون الطاقة المختزلـــة مـــن تفاعل الضوء وبذلك يتم اختزال PGA المتراكم إلى .G3.P ويعود إلى سابق مستواه كمـــا ينـــتظم أيضـــاً مستوىRuBP.

قياس عملية البناء الضوئى

تقاس عملية البناء الضوئى بعدة طرق أهمها:

- **قياس حجم O_2الناتج من تفاعلات البناء الضوئى باستخدام جهاز واربورج أو الأكسيجراف.**
- **قياس حجـــم CO_2 المســـتهلك فـــى عمليـــة البنـــاء الضـــوئى باســـتخدام جهـــاز ultera Red ReCOrding**
- **تقدير كمية الكربوهيدرات التى تم بناؤها.**

هذا ويراعى أنه يستهلك جزء من الكربوهيدرات فى عملية التنفس ومن المعروف أن معدل عمليـــة البنـــاء الضوئى يبلغ ١٠ ــ ٢٠ مرة قدر عملية التنفس.

دور الضوء فى تنشيط إنزيمات تفاعل الظلام
Role of light an activation of dark phase enzymes

بالإضافة إلى دور الضوء فى تنشيط تفاعل الضوء من خلال نظاميه Ps II & Ps I وإنتــاج الطاقــة فــى صورة ATP & $NADPH_2$.

لوحظ أيضاً أن للضوء دور فى تنشيط بعض إنزيمات دورة كالفن والمسماة بتفاعــل الظــلام. ومــن هــذه الإنزيمات:

1- RuBP cardoxylase.
2- glyceraldehyde-3p-dehydrogenase.
3- fructos biphosphatase.
4- sedoheptulose biphosphatase.
5- phosphoribukinase.

البناء الضوئى فى النباتات رباعية الكربون photosynthesis in C4 plants

اقترح العالمان هاتش وسلاك (Hatch &slack,1968) مساراً جديداً لتثبيت CO_2 فــى بعــض النباتــات وخاصة الاستوائية وشبه الاستوائية مثل الذرة & قصب السكر & Amayanthus& atriplex.

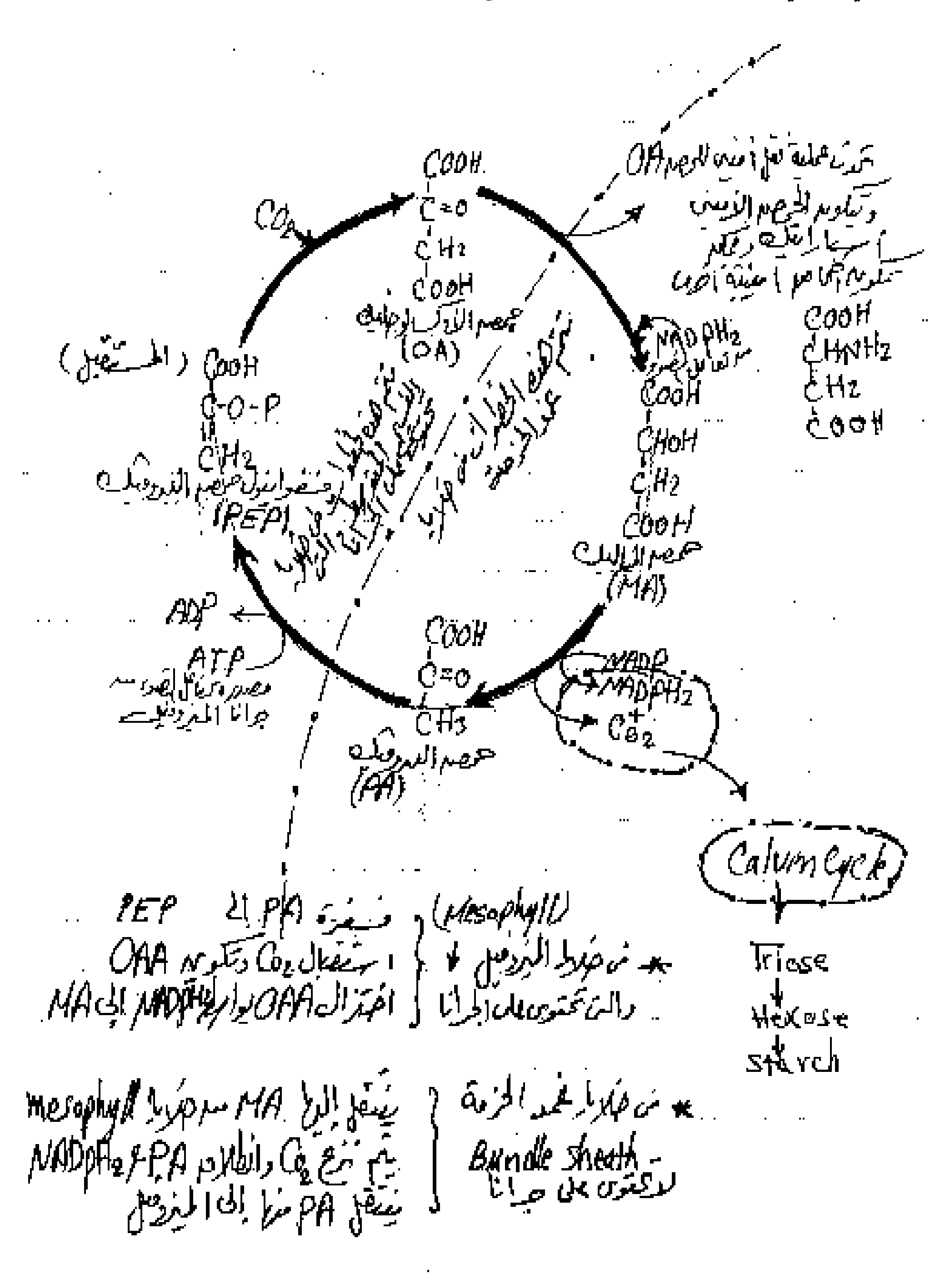
والمستقبل لثانى أكسيد الكربون فى هذا المسار هو المركب PEP(فسفو إينول حمض البيروفيك).

يلاحظ فى هذا المسار أن PEP يستقبل CO_2 ويتكون OAA (حمض الآوكسالوخليك) والذى يختــزل إلــى MA (حمض الماليك) والذى ينتقل من خلايا النسيج المتوسط فى الأوراق حيث توجد الجرانا إلى خلايا غمد الحزمة حيث يتم تمثيل CO_2 بعد انفراده إلى مستوى الكربوهيدرات من خلال دورة كالفن.

يلاحظ أن النباتات الرباعية الكربون أكثر كفاءة فى عملية البناء الضوئى من النباتات ثلاثية الكربون وذلــك لأن الرباعية الكربون يتم بها مساران هما هاتسن وسلاك ومسار كالفن أما الثلاثية الكربون فيتم بها مســار واحد هو مسار كالفن.

فى بعض الحالات الخاصة تكون عملية البناء الضوئى $C4_2$ أقل كفاءة منها فى نباتــات C3 وخاصــة فــى درجات الحرارة المنخفضة وذلك لأن إنزيم pyrovate phosphate dikinase حســاس جــداً لــدرجات الحرارة المنخفضة.

والرسم التوضيحي التالي يبين مسار هاتش وسلاك فى النباتات رباعية الكربون.



أهم الفروق بين نباتات C4 & C3

١ ـــ نباتات C_4 تنمو جيداً تحت ظروف إضاءة شديدة ودرجة حرارة مرتفعة نسبياً تتراوح بـــين ٣٠ - ٣٥ °م أثناء النهار بينما C_3 تنمو جيداً فى ظروف معتدلة تميل إلى البرودة.

٢ ـــ تنمو نباتات C_4 بمعدل مرتفع فى عملية البناء الضوئى حيث يتم تمثيل ٤٠ - ٨٠ مجم CO_2/ديســمبر مربع من سطح الورقة بينما نباتات C_3 معدلها أقل من ذلك فهو يعادل ١٥ - ٤٠ مجم CO_2 فقط.

40-80 mg CO_2 afixed/dm^2 of leaf surface/hour (C4)
15-40 mg CO_2 afixed/dm^2 of leaf surface/hour (C3)

٣ ـــ تنمو نباتات C_4 بمعدل مرتفع من النمو بدرجة أكبر من نباتات C_3.

4-5 gm dry weight produced / dm^2 of leaf surface/ day (C_4)
0.5- gm dry weight produced / dm^2 of leaf surface/ day (C_3)

٤ ـــ معدل التنفس الضوئى منخفض جداً فى النباتات C_4 بينما مرتفع فى نباتات C_3.

٥ ـــ تنمو نباتات C_4 بانخفاض معدل الماء المفقود مقارنة بكمية المادة الجافة المتكونة فى النباتات

50-350 gm H_2O/gm D.wt (C_4)
450-950 gm H_2O/gm D.wt (C_3)

٦ ـــ التركيب التشريحى للأوراق مختلف حيث تتميز نباتاتC_4 بوجود نسيج متوسط وغلاف حزمه.

٧ ـــ المستقبل لغاز CO_2 فى نباتات C_4 هو PEP بينما فى نباتات C_3 هو RuBP

٨ ـــ موقع إنزيم PEP- Carboxylase فى السيتوبلازم.

بينما إنزيم RuRP- Casboxylase فى الكلوروبلاست.

٩ ـــ نباتات C_4 فى معظمها تتحمل الملوحة ويعتبر عنصر Na (الصوديوم) أساسياً حيث أنه يـــؤدى إلـــى زيادة نشاط PEP-Casboxylase.

١٠ ـــ أهم الإنزيمات فى نباتات C_4 هو PEP-Casboxylase.

بينما فى نباتات C_3 هو RuRP- Casboxylase.

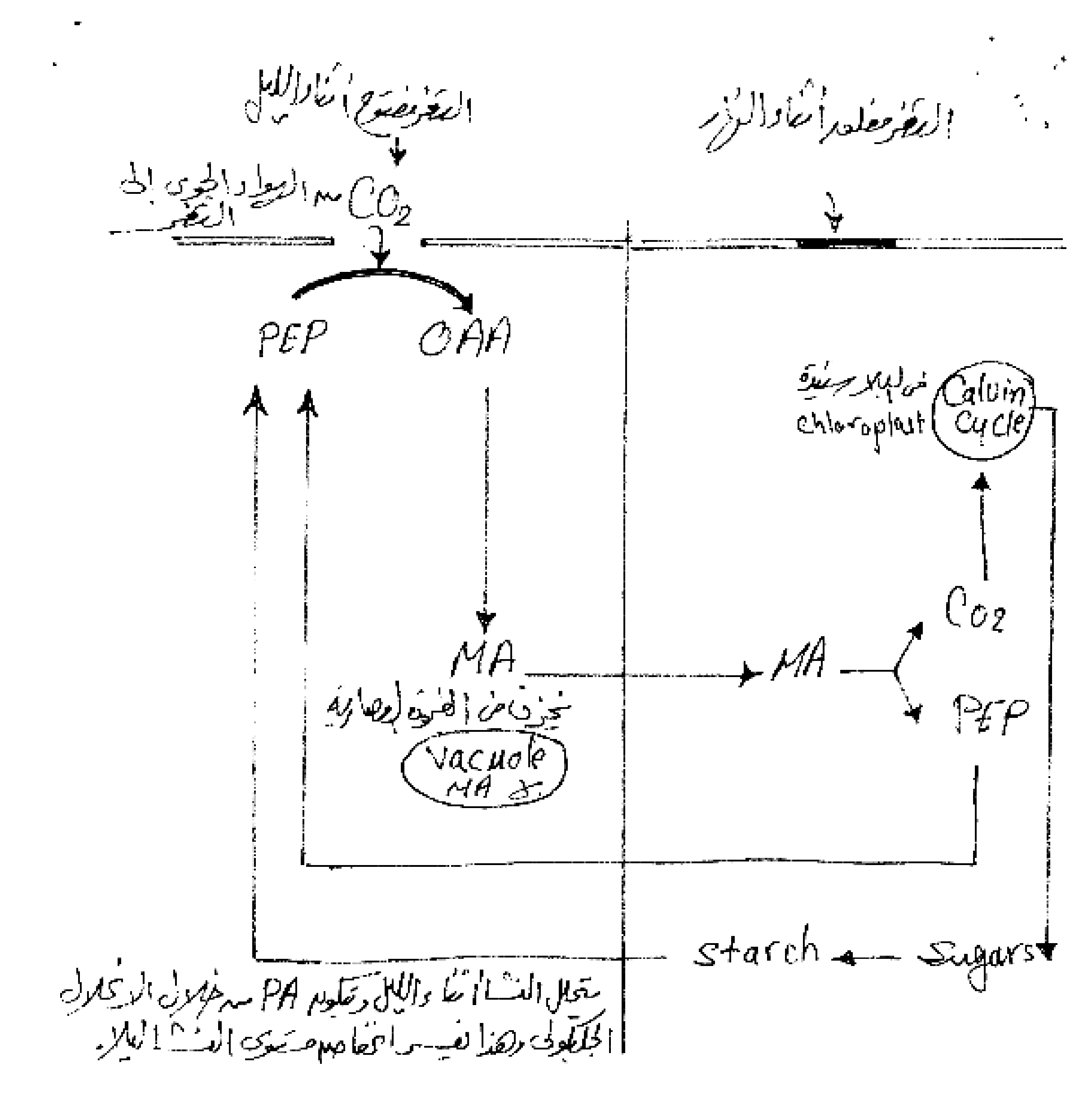
تمثيل CO2 فى النباتات العصيرية CO2 fixation in succulent plants

بعض النباتات مثل الودنة ــ الصبار ــ حى علم ــ السادوم. والتى تنمو فى البيئة الحامضية تكون سـيقانها لحمية ومعدل النتح منخفضاً لذلك تسمى بالنباتات العصارية وهذه النباتات تقوم بتثبيت CO_2 كما يحدث فى نباتات C_4 إلا أن هذه النباتات ليس لها التركيب التشريحى لنباتات C_4.

وتسمى الدورة التى تتم فـى مجموعـة النباتـات العصـارية باسـم (CAM) Crassulacean acid metabolism والمستقبل لغاز CO_2 هو المركب PEPكما فى نباتات C_4.

فى هذه النوعية من النباتات تفتح ثغورها ليلاً وتغلق نهاراً. فيدخل CO_2 ليلا من خـلال الثغـور ويـرتبط بالمستقبل PEP ويختزل إلى OAA ثم MA والذى يخزن فى الفجوة العصارية مما يرفع درجة حموضـة العصير الخلوى (PH = 4.0).

أثناء النهار وفى وجود الضوء تغلق الثغور ويحدث نقل للحمض NA إلى الكلوروبلاست حيث ينـزع CO_2 منMA ويتحول إلى PEP ويدخل CO_2 إلى دورة كالفن ويحدث نقـص فـى درجـة حموضـة الفجـوة العصارية (PH = 6.0). ومثال لبعض العائلات التـى تحـدث بهـا هـذه الظـاهرة Crassulaceae & Euphorbiaceae & Cactaceae



Scheme of Carssulacean Acid Metabolism

العوامل التى تؤثر فى سرعة عملية البناء الضوئى

* الـضوء

تزداد سرعة عملية البناء الضوئى بزيادة كمية الضوء إلى أن يصبح عامل آخر هو العامل المحدد. وشدة الإضاءة اليومية التى يستطيع فيها النبات أن يبنى السكر اللازم لحياته تسمى شدة الإضاءة الحرجة.

وتنقسم النباتات تبعاً لشدة الإضاءة إلى نباتات شمس ونباتات ظل. ويمكن فى حالة توفر العوامل اللازمة لعملية البناء الضوئى بدرجة ثابتة وإذا كانت شدة الإضاءة ضعيفة فى أول الأمر فإن عملية البناء الضوئى تزداد تدريجيا بزيادة شدة الضوء. أما الإضاءة الشديدة جداً فلها تأثير ضار بعملية البناء الضوئى ويسمى هذا التأثير solarizatian يعزى الضرر إلى حدوث أكسدة ضوئية photo-oxidation حيث تتأكسد مكونات الخلية بواسطة الأكسجين الناتج من عملية البناء الضوئى. كما يتم هدم وأكسدة الكلوروفيل إلى أن تقف عملية البناء الضوئى إذا حدثت عملية الأكسدة الضوئية لفترة طويلة (عدة ساعات).

أما بالنسبة للطول الموجى للضوء وتأثيره على عملية البناء الضوئى فقد لوحظ أن عملية البناء الضوئى تبلغ أقصى سرعتها عند الأطوال الموجية ٤٤٠ &٦٥٠ ملليمكرون.

* درجة الحرارة

درجة الحرارة المثلى لعملية البناء الضوئى فى معظم النباتات ما بين ١٠-٣٥ ْم. وقد تحدث عملية البناء الضوئى عند (-٣٥ ْم) كما فى صنوبريات المناطق القطبية. وقد تحدث أيضاً عند (٧٥ ْم) كما فى طحالب العيون الساخنة أو عند (٥٥ ْم) كما فى بعض النباتات الصحراوية. وعموماً لا تحدث عملية البناء الضوئى فى النباتات الاستوائية عند أقل من ٥ ْم.

درجة الحرارة المنخفضة تثبط عملية البناء الضوئى من خلال نشاط الإنزيمات الخاصة بتفاعل الظلام وقد تتكون الثلج داخل وخارج الخلايا. وتكوين الثلج خارج الخلايا يؤدى إلى سحب الماء من الخلايا وحدوث جفاف لمحتويات الخلية ومنها الكلوروبلاست بالإضافة إلى أن الثلج يحطم الأغشية البلازمية ويفسد النفاذية بما فى ذلك أغشية الكلوروبلاست.

بينما الارتفاع الشديد لدرجة الحرارة يثبط عملية البناء الضوئى وخاصة فى نباتات C3 بدرجة أكبـــر مـــن نباتات C_4 وذلك لتنشيط وتشجيع عملية التنفس الضوئى.

* تركيز CO2

يوجد CO_2 فى الهواء الجوى بنسبة 0.03% وجد أن زيادة تركيز CO_2 حول النباتات يؤدى إلى إســـراع معدل عملية البناء الضوئى إلى أن يصل تركيزه 0.15%، وتنقص معدل العملية سريعاً عند تركيزات أعلـــى من هذا المستوى ويعزى ذلك لحدوث التأثير السام للغاز على البروتوبلازم.

* الأكسوجين

يوجد بعض الأكسوجين بنسبة٢٠% تقريباً فى الهواء الجوى ولقد وجد أن نقص O_2 ذو أثر مشجع لعمليـــة البناء الضوئى بينما زيادة تركيزه عن ٢٠% كان ذو أثر مثبط وذلك لأنه يعمل على:

- **يقوم O_2 بالتنافس على H_2 فيقلل من قرص اختزال CO_2 وبالتالى يثبط عملية البناء الضوئى.**
- **يقوم الأكسوجين بأكسدة RuBP وهو المستقبل لغازCO_2 فيحوله إلى حمـــض الفســـفوجليكوليك فيقلل بذلك من معدل تثبيت CO_2.**
- **يؤثر بالسلب على نشاط الإنزيمة RuBP- Carboxylase**

من الواضح أن هذا التثبيط يكون واضحاً فى النباتاتC_3 بينماC_4 لا يحدث فيها تثبيط لعملية البناء الضـــوئى وذلك لإمدادها بتركيزات عالية من CO_2 من خلال دورة هاتش سلاك ووجود CO_2 بتركيز وافر يقلل مـــن تنافسO_2 وأثره المثبط ويقل التنفس الضوئى فى نباتات C_4.

* الإجهاد الناتج عن زيادة الأملاح

فى حالة salinity stress لوحظ انتفاخ البلاستيدات ــ تأكل الجرانا ــ نقص كفاءة تفاعل الضوء ــ نقص كفاءة الفسفرة الضوئية – أكسدة الكاروتين الذى يحمى الكلوروفيل من الهدم.

عـلاقة الـعناصر الـمغذية بـعملية الـبناء الـضوئى
Mineral nutrients – photosynthesis interactions

لوحظ وجود علاقة وثيقة بين نقص بعض العناصر المغذية وحدوث تغيرات تركيبية فى الكلوروبلاست وكذلك حدوث تغير فى الشكل الظاهرى للكلوروبلاست. بالإضافة إلى حدوث نقص عـدد حبيبـات الجرانـا داخـل الكلوروبلاست. كما لوحظ تضخم فى حبيبات النشا المتواجدة فى الكلوروبلاست وهدم فى الصفائح المتواجدة داخل الكلوروبلاست وخاصة فى حالة نقص عنصرى الحديد أو المنجنيز.

لاحظ العديد من العلماء وجود علاقة وثيقة بين نقص عناصر النحاس ، البـورون ، الزنـك ، البوتاسـيوم والفوسفور وبين النقص الواضح فى كفاءة تفاعل الظلام (إختزال CO_2). وكذلك وجود علاقة وثيقـة جـداً بين نقص عناصر المنجنيز ، الموليبدنيم ، الكبريت ، الماغنسيوم ، النيتروجين والكالسيوم وحـدوث نقـص شديد فى كفاءة تفاعل الضوء (تفاعل هيل).

أولاً: تأثير Macro nutrients (العناصر الكبرى)

١. النيتروجين (Nitrogen)

- **يعتبر النيتروجين المكون الرئيسى لمكونات جهاز البناء الضـوئى مثـل البـروتين ، الكلوروفيـل وصفائح الجرانا.**
- **النقص فى محتوى النيتروجين يؤدى إلى نقص حاد فى محتوى الأوراق مـن الكلوروفيـل وكـذلك نقص حاد فى مكونات صفائح الكلوروبلاست وبالتالى حدوث نقص حاد فى كفـاءة عمليـة البنـاء الضوئى.**
- **النيتروجين ينظم كميات مركبات التنفس الضوئى (دورة الجليكولات) من خلال تكـوين الجليسـين والسيرين.**

ــ تراكم أيونات الأمونيوم NH_4 يؤدى إلى:

- **هدم الكلوروبلاست.**
- **هدم الكلوروفيل.**

- **نقص كفاءة البناء الضوئى.**
- **تثبيط إنتقال الجلوكوز المخلق من عملية البناء الضوئى.**

٢ـ الفوسفور (Phosphorus)

- **تخليق النشا وتثبيت CO_2 وتحولات الكربوهيدرات وإنتقال السكريات يتم أساساً بواسطة الفوسفات فى صورة ATP.**
- **كما يدخل الفوسفور فى تركيب الفوسفوليبيدات المكــون الرئيســى للأغشــية البلازميــة للخليــة وعضياتها والشبك الإندوبلازمى.**
- **نقص الفوسفور يؤدى إلى زيادة نسبة Starch/Sucrose ratio وهذا مرتبط بالتغير فى النشــاط الكلى للإنزيمات المؤثرة فى تحولات كل من النشا والسكروز.**
- **نقص الفوسفور يؤدى إلى نقص حاد فى كفاءة عملية البناء الضوئى.**
- **نقص الفوسفور يؤدى إلى نقص إنتقال الطاقة من الكلوروبلاست إلى أجزاء النبات الأخرى.**
- **نقص الفوسفور يؤدى إلى تثبيط تفاعلات دورة حمض الستريك (كربس) مما يــؤدى إلـــى تــراكم حمض البيروفيك Pyrovic acid بالإضافة إلى حدوث نقص واضح فى تخليق البروتين والأحماض النووية.**
- **لوحظ حدوث تنشيط لجميع العمليات الحيوية مما ينعكس على زيادة النمو وبالتالى المحصــول فــى حالة زيادة المحتوى من الفوسفور بالإضافة إلى زيادة المحتوى من النيتروجين وهذه الزيادة فــى النشاط أكبر كثيراً من حدوث الزيادة فى أى من الفوسفور أو النيتروجين منفرداً.**
- **زيادة عنصر Mg يؤدى إلى زيادة فى إمتصاص عنصر الفوسفور.**
- **تعريض النبات لظروف الإجهاد Stress مثل الملوحة والتعطيش يؤدى إلى نقص شديد فى المحتوى من الفوسفور.**

.٣

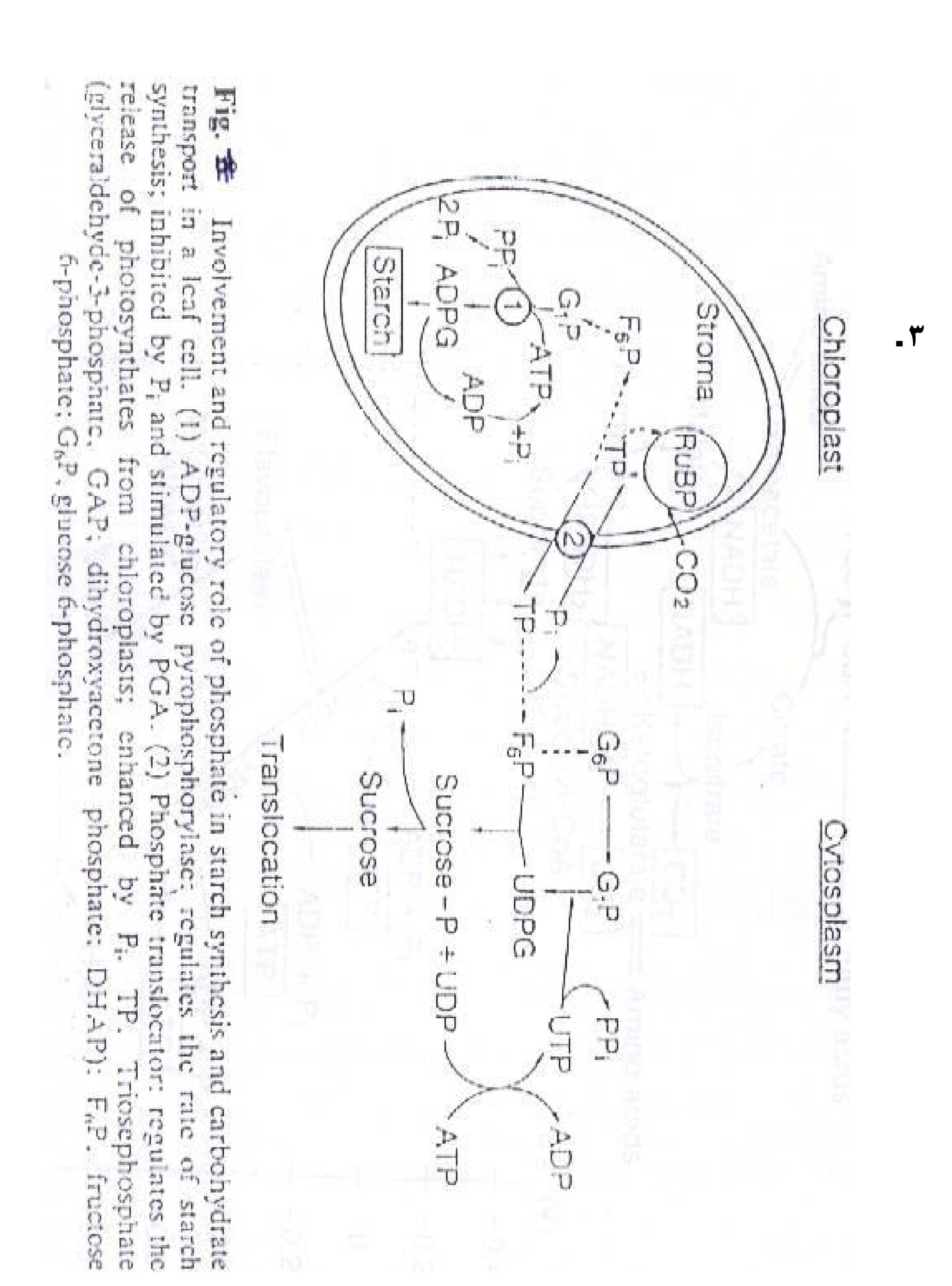


Fig. ٣ Involvement and regulatory role of phosphate in starch synthesis and carbohydrate transport in a leaf cell. (1) ADP-glucose pyrophosphorylase: regulates the rate of starch synthesis; inhibited by P_i and stimulated by PGA. (2) Phosphate translocator: regulates the release of photosynthates from chloroplasts; enhanced by P_i. TP, Triosephosphate (glyceraldehyde-3-phosphate, GAP; dihydroxyacetone phosphate: DHAP); F_6P, fructose 6-phosphate; G_6P, glucose 6-phosphate.

البوتاسيوم (Potassium)

- **نقص البوتاسيوم يؤدى إلى نقص حاد فى كفاءة عملية البناء الضوئى وزيادة التنفس.**

- **نقص البوتاسيوم يؤدى إلى نقص فى إنفتاح الثغور وبالتالى نقص دخول CO_2 إلى أنسجة الأوراق.**
- **زيادة المحتوى من البوتاسيوم يؤدى إلى تنشيط تثبيت CO_2 .**
- **نقص البوتاسيوم يؤدى إلى نقص واضح فى عدد صفائح الجرانا فى الكلوروبلاست.**
- **نقص البوتاسيوم يؤدى إلى نقص واضح فى المساحة الورقية وهذا النقص يرجع لزيادة المساحات الميتة من الأوراق Necrosis والتى تكونت بسبب تراكم المركبات النيتروجينية السامة.**
- **نقص البوتاسيوم يؤدى إلى نقص واضح فى إنتقال نواتج عملية البناء الضوئى وحدوث زيادة فى تراكم السكروز والهكسوزات ويرتبط ذلك بنقص الأوراق من الماء مع زيادة واضحة فى الضغط الأسموزى مع نقص شديد فى النشاط الإنزيمى.**
- **زيادة المحتوى من البوتاسيوم K يؤدى إلى نقص إمتصاص البورون B ، الحديد Fe ، الموليبدنيم Mo بينما يؤدى إلى زيادة إمتصاص كل من Cu ، Mn ، Zn .**
- **فى ظروف الإجهاد الملحى فإن الصوديوم Na يحل محل البوتاسيوم K .**

٤ـ الكالسيوم (Calcium)

- **من المعروف أن الكالسيوم يؤدى العديد من الوظائف والأدوار وخاصة المتعلقة بالنشاط الإنزيمى أو بتركيب الأغشية الخلوية وكذلك خاصية النفاذية الإختيارية بالإضافة إلى النشاط الهرمونى وإنتقال الكاتيونات إلى داخل الخلية والتساقط.**
- **نقص Ca فى الأوراق يؤدى إلى نقص واضح فى نشاط البناء الضوئى ونقص واضح فى حجم الكلوروبلاست.**
- **الفسفرة الضوئية فى الكلوروبلاست ترتبط بالنشاط الإنزيمى ATPase والذى سيتم تنشيطه بواسطة Ca وبالتالى فإن نقص Ca يؤدى إلى نقص مركبات الطاقة فى الكلوروبلاست.**

- الثبات فى الأغشية البلازمية يرجع لتواجد عنصر Ca وذلك من خلال إدخال مجموعات الفوسفات والكربوكسيلات لمركبات الفوسفوليبيدات.
- يلعب Ca دوراً هاماً فى تركيب الميتوكوندريا وكذلك وظائفها.
- يلعب Ca دوراً هاماً فى التوازن بين الكاتيونات والأنيونات داخل الفجوات كما يلعب دوراً هاماً فى إستطالة ووظائف الخلايا.
- الكالسيوم يتداخل مع العديد من العناصر مثل N ، K ، B .

٥. الماغنسيوم (Magnesium)

- الماغنسيوم هو المكون الرئيسى لتركيب جزيء الكلوروفيل وبالتالى فإن نقص Mg يؤدى إلى نقص واضح فى عملية البناء الضوئى.
- الماغنسيوم يؤدى إلى تنشيط (عامل مساعد) العديد من الإنزيمات وخاصة المتعلقة والمتداخلة فى عملية نقل الفوسفات وأيض ATP.
- الماغنسيوم له دور واضح فى نشاط إنزيم RUBP carboxylase المتواجد فى ستروما الكلوروبلاست وكذلك إنزيم Fructose 1,6 biphosphatase المتواجد فى الكلوروبلاست والذى ينظم العلاقة بين تخليق النشا ونقل Triose-phosphate (export) وكذلك للماغنسيوم دور واضح فى تنشيط إنزيمات Enolase & Dehydrogenases .
- الماغنسيوم ينشط كذلك RUBP carboxylase .
- نقص الماغنسيوم يؤدى إلى تراكم النشا فى الأوراق بينما يحدث نقص واضح فى النشا فى أنسجة التخزين.
- يرى بعض العلماء أن Mg له دور مثبط لإنطلاق O_2 من الكلوروبلاست خلال تفاعل الضوء.

٦. الكبريت (Sulfur)

- الكبريت المكون الرئيسى للأحماض الأمينية السيستين و الميثونين كما يدخل فى تركيب الليبيدات الكبريتية والتى تتداخل بشكل واضح فى تركيب الأغشية البيولوجية.
- كما يدخل الكبريت فى تركيب الثيامين , Biotin , Lipoic acid , CoA والتى لها علاقة بنقل CO_2 .
- نقص الكبريت يقلل نشاط عملية البناء الضوئى إلى أقل حد ممكن . بالإضافة إلى نقص واضح فى محتوى الكلوروفيلات كما يؤدى أيضاً إلى نقص واضح فى إنتشار ودخول CO_2 من خلال الثغور.

- **نقص الكبريت يؤدى إلى إفساد وتقليل تخليق بعض المركبات الكبريتية مثل Ferredoxin , (Vitamin B1) Thiamine pyrophosphate , Biotin.**
- **نقص الكبريت يؤدى إلى نقص تخليق البروتين وهذا التثبيط يسبب تراكم Nitrate , Soluble-N وهذا يؤدى إلى إصفرار أوراق النباتات.**

*** نقص الكبريت والزنك يؤدى إلى نقص نشاط:**

- **Malate dehydrogenase**
- **Glucose 6-P-dehydrogenase**
- **نقص المحتوى من البروتين والنشا فى البذور.**
- **زيادة السكريات الذائبة فى الفول السودانى.**
- **تراكم النشا.**

ثانياً: تأثير Micro nutrients (العناصر الصغرى)

١ ـ النحاس (Copper)

- **أكثر من نصف المحتوى من النحاس يتواجد فى الكلوروبلاست مرتبطاً بالبلاستوسيانين Plastocyanine وهو أحد مركبات PSII فى تفاعل الضوء.**
- **النحاس ضرورى لتخليق كل من RNA & DNA ولذلك ينخفض المحتوى من هذه الأحماض النووية بشدة فى حالة نقص النحاس فى الأنسجة.**
- **كل من النحاس والزنك يتواجد فى إنزيم (SOD) Superoxide dismutase ويتواجد هذا الإنزيم فى الكائنات الهوائية.**
- **كل من النحاس والحديد مهم جداً Cytochrome oxidase system .**
- **النحاس ضرورى ومهم لكل من Lactase , Amine oxidase , Ascorbic oxidase , Phenolase .**
- **هدم الدهون (الأحماض الأمينية) يتم هدمها بإنزيمات النحاس.**

§ نقص النحاس يؤدى إلى نقص واضح فى نشاط عملية البناء الضوئى ونقص واضح فى تفاعل الضوء **Hill reaction** و إختلال واضح فى عمل **Phenolase** وكذلك **Lactase** فى أكسدة الفينولات التى تعتبر المصدر الرئيسى لتخليق اللجنين **legnin biosynthesis** .

§ نقص النحاس يؤدى إلى نقص تخليق البروتين مما يسبب تراكم للأحماض الأمينية الذائبة.

§ نقص النحاس يؤدى إلى نقص إنطلاق O_2 من خلال **PSII** وواضح أن تثبيط **PSII** أكثر من التثبيط فى **PSI**.

§ النحاس يؤثر على إمتصاص الفوسفور وكذلك انتقاله حيث لوحظ أن المحتوى المرتفع من النحاس يؤدى إلى إرتفاع المحتوى من الفوسفور بينما المحتوى المنخفض من النحاس يؤدى إلى إرتفاع المحتوى من الفوسفور.

٢ـ الحديد (Iron)

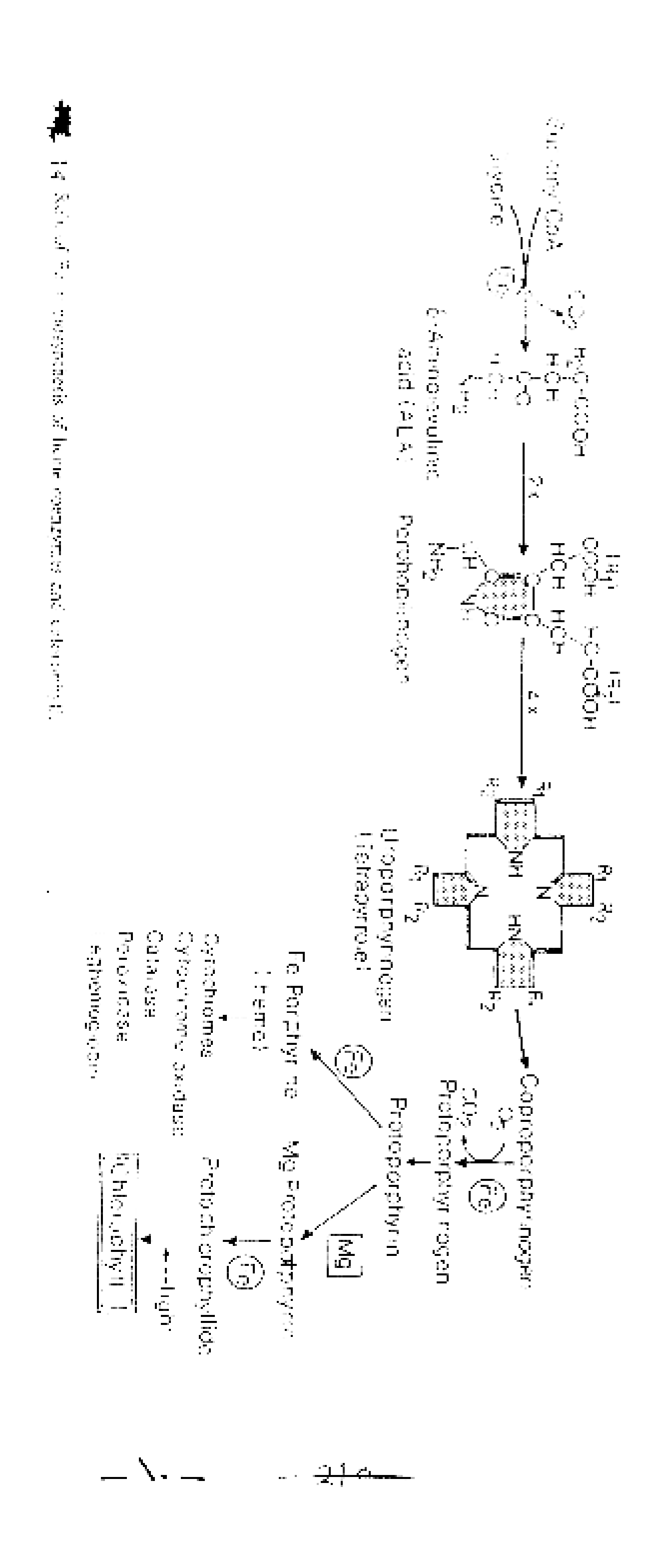
§ يتواجد معظم البروتين المحتوى على الحديد فى الكلوروبلاست والحديد ضرورى لتخليق الكلوروفيل وذلك من خلال دخول الحديد وضرورته فى تخليق **α-amino levulinic acid** والذى يعتبر المصدر لتخليق الكلوروفيل كما هو موضح فى الشكل التالى.

§ من الإنزيمات المحتوى على الحديد **catalase Peroxidase** ، **Cytochrome oxidase** ، **Cytochromes**.

§ معظم مركبات الفسفرة الضوئية الدائرية وغير الدائرية تحتوى على الحديد ومن أهمها **(Cytochromes & Ferredoxin)**.

§ نقص الحديد يسبب إصفرار الأوراق وذلك لنقص المحتوى من الكلوروفيل . كذلك يسبب نقص المحتوى من البروتين والذى ينعكس سلباً على تخليق الكلوروفيل.

§ إمتصاص الحديد يتنافس مع العديد من الكاتيونات مثل **Mn , Zn , Cu , Ca , Mg , K**.


Succinyl CoA
Glycine
δ-Aminolevulinic acid (ALA)
Porphobilinogen
Uroporphyrinogen (tetrapyrrole)
Coproporphyrinogen
Protoporphyrinogen
Protoporphyrin
Fe Porphyrins (Hemes)
Cytochromes
Cytochrome oxidase
Catalase
Peroxidase
Mg Protoporphyrin
Protochlorophyllide
Chlorophyll

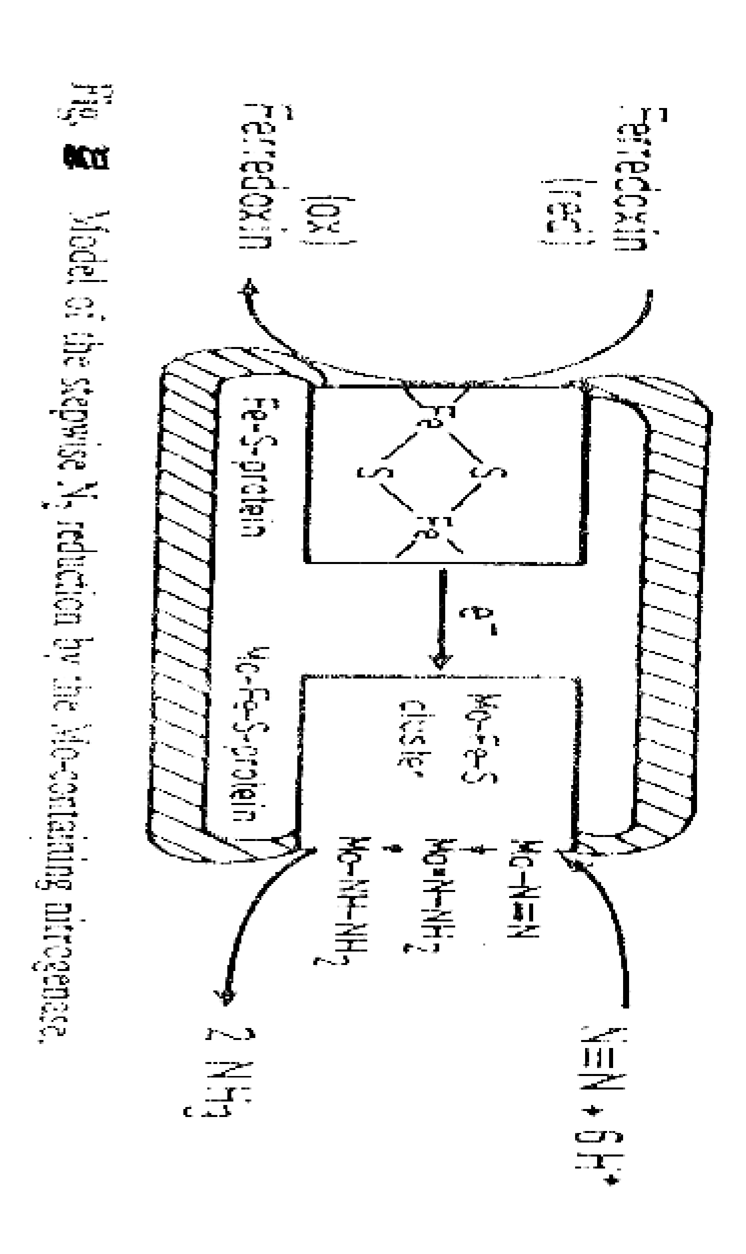


Fig. Model of the stepwise N_2 reduction by the Mo-containing nitrogenase.

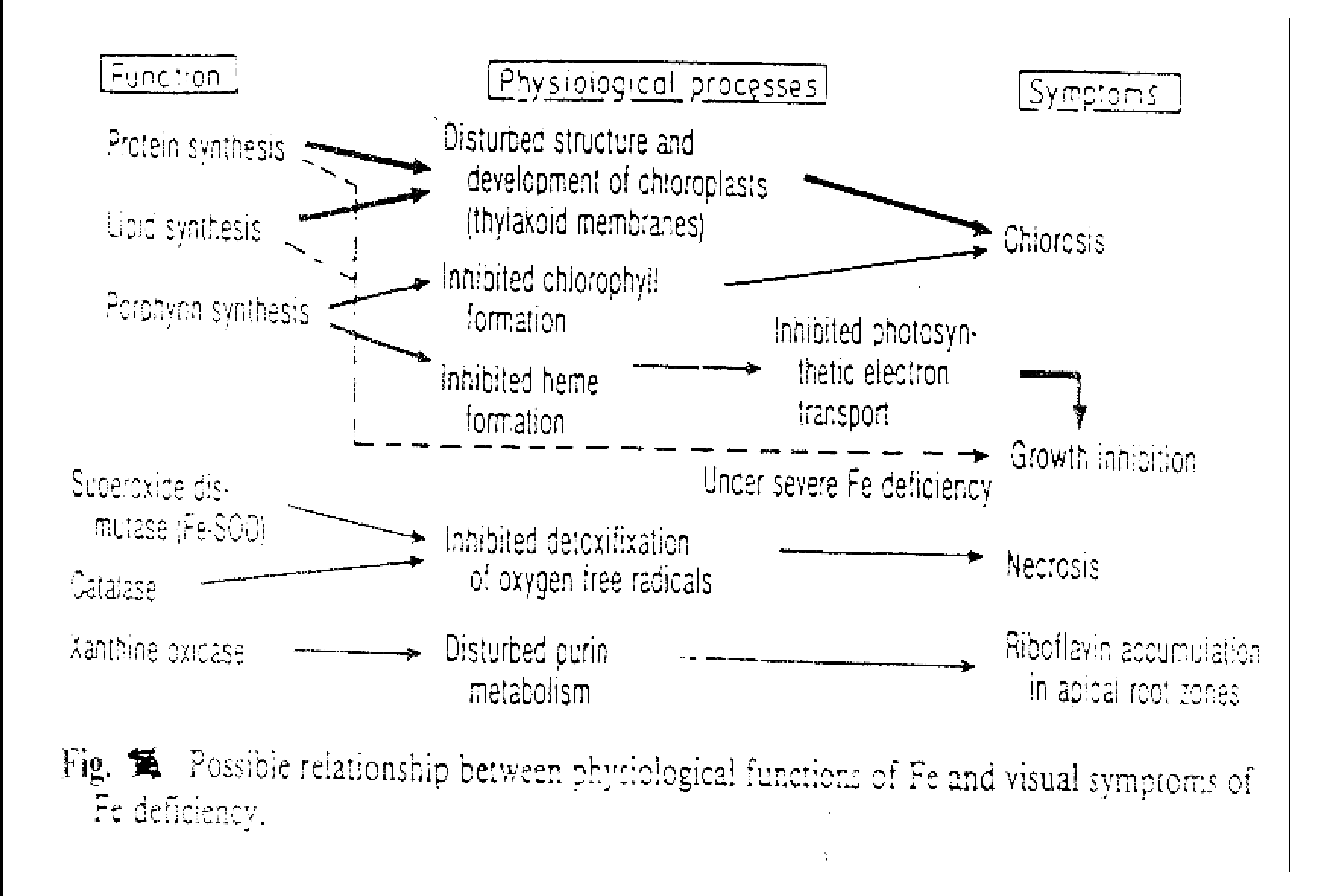


Fig. [illegible] Possible relationship between physiological functions of Fe and visual symptoms of Fe deficiency.

٣. المنجنيز (Manganese):

- المنجنيز مهم جداً لإنطلاق O_2 من التحلل الضوئى للماء من خلال PSII فى تفاعل الضوء (Hill reaction) ويعتبر Mn مانح الإلكترون للكلوروفيل فى هذا النظام.
- يتداخل المنجنيز فى نظام الأكسدة الإختزالية فى سلسلة نقل الإلكترون فى عملية البناء الضوئى.
- Mn ينشط إنزيمات Dehydrogenases & Decarboxylases الخاصة بدورة (TCA) كربس وكذلك IAA-oxidase .
- إمتصاص Mn بواسطة النباتات يؤدى إلى نقص شديد فى العناصر المتاح إمتصاصها مثل Fe , Cu , Zn .
- مكونات الأغشية البلازمية مثل Polyunsaturated fatty acids , Glycolipids يحدث لها نقص بشدة فى المحتوى من المنجنيز Mn كما يحدث أيضاً تغيير فى المحتوى من مركبات Lipids .

٤. الكلوريد (Chloride)

- من المعلومات الموثقة أن للكلوريد وظيفة حيوية فى مرحلة إنطلاق O_2 من خلال النظام PSII فى تفاعل الضوء فى عملية البناء الضوئى كما أن له علاقة وثيقة فى إمداد الكلوروفيل (P680) بالإلكترونات التى فقدتها الصبغة من خلال عملية نقل الإلكترونات فى PSII (Electron transport)

٥. الزنك (Zinc)

- من المعروف أن الزنك يشبه تماماً المنجنيز والمغنسيوم فى تشجيع عملية الربط بين الإنزيم ومادة التفاعل.
- الزنك له علاقة وثيقة أيضاً فى عمل إنزيمات:

- Glutamic dehydrogenase .
- Proteinases, peptidases .
- Lactic acid .

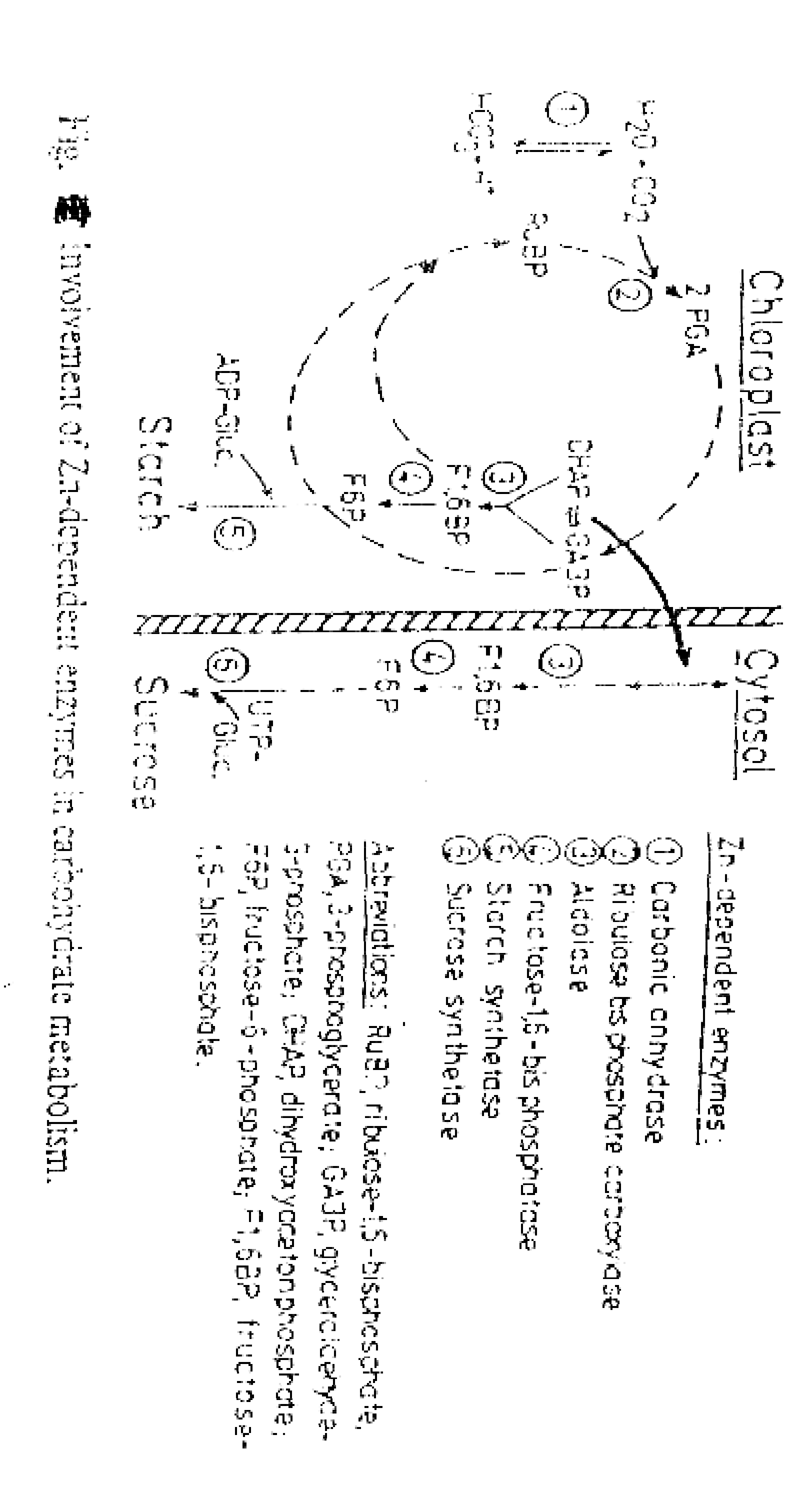


Fig. Involvement of Zn-dependent enzymes in carbohydrate metabolism.

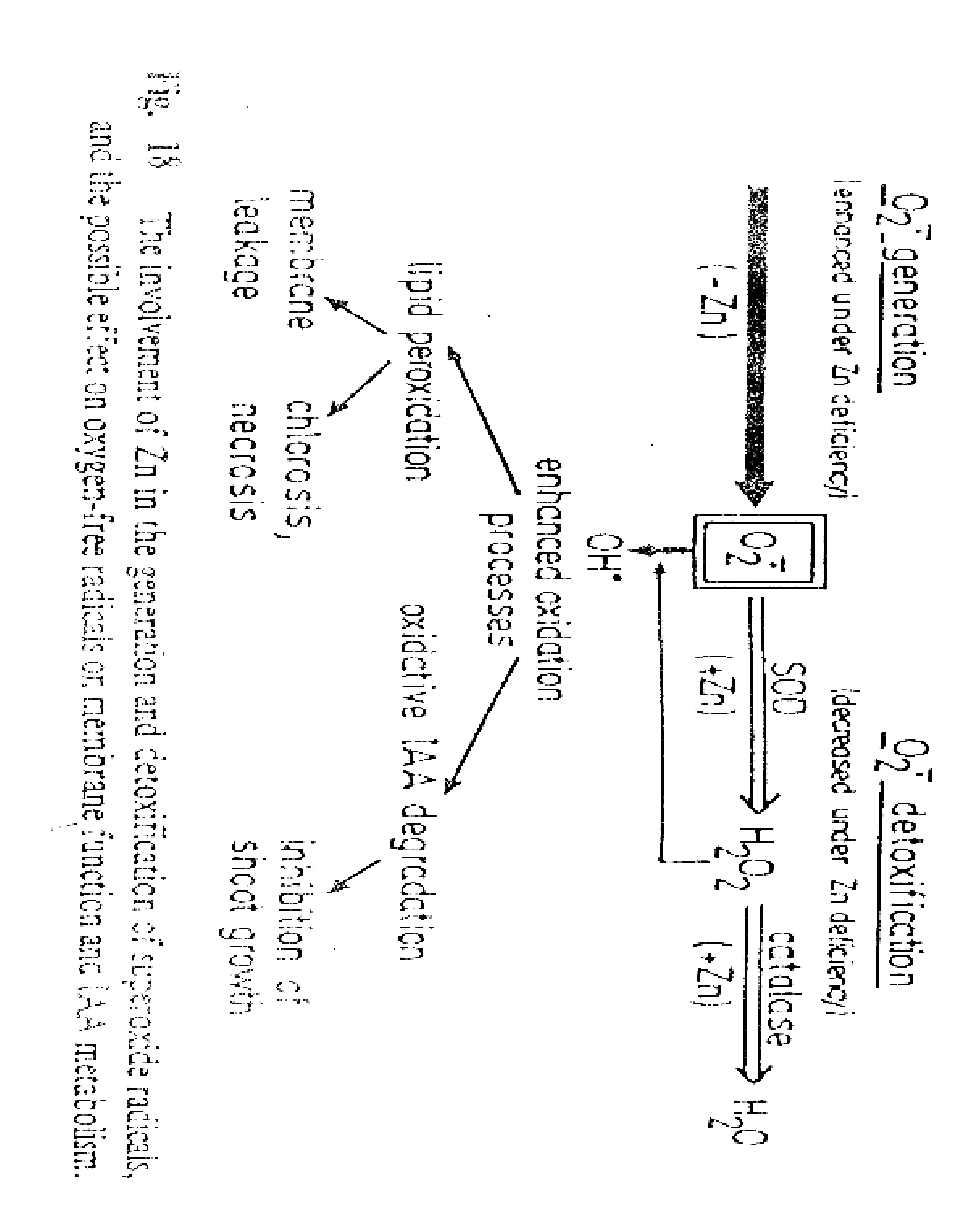


Fig. 18 The involvement of Zn in the generation and detoxification of superoxide radicals, and the possible effect on oxygen-free radicals on membrane function and IAA metabolism.

§ **يتداخل الزنك Zn بشدة فى التحولات الغذائية للكربوهيدرات فى مراحلها المختلفة ومنها إنزيم Carbonic anhydrase والذى يتواجد فى السيتوبلازم والكلوروبلاست والذى يقوم بتحويل CO_2 إلى HCO_3 فى عملية تثبيت CO_2 فى البناء الضوئى.**

- **لزنك Zn يؤدى إلى تنشيط إمتصاص P الفوسفور من خلال الأغشية البلازمية فى خلايا جذور النباتات مما يؤدى إلى حدوث سمية نتيجة لزيادة تراكم الفوسفور فى خلايا الجذر والمخطط التالى يوضح علاقة Zn الزنك بإنزيمات تحولات الكربوهيدرات.**
- **أيضاً الزنك Zn يعمل كمادة مضادة للأكسدة وحماية خلايا الأنسجة من Oxygen free radicals من خلال تفعيل وتنشيط عمل إنزيمات Catalase & SOD كما فى المخطط التالى:**

٦. البورون (Boron):

ــ البورون يتداخل فى العديد من العمليات الحيوية وله العديد من الأدوار مثل :

١ ــ إنتقال السكريات.

٢ ــ بناء مادة الجدار الخلوى.

٣ ــ عملية التلجين Lagnification .

٤ ــ التحولات الغذائية للكربوهيدرات.

٥ ــ أيض RNA .

٦ ــ التنفس.

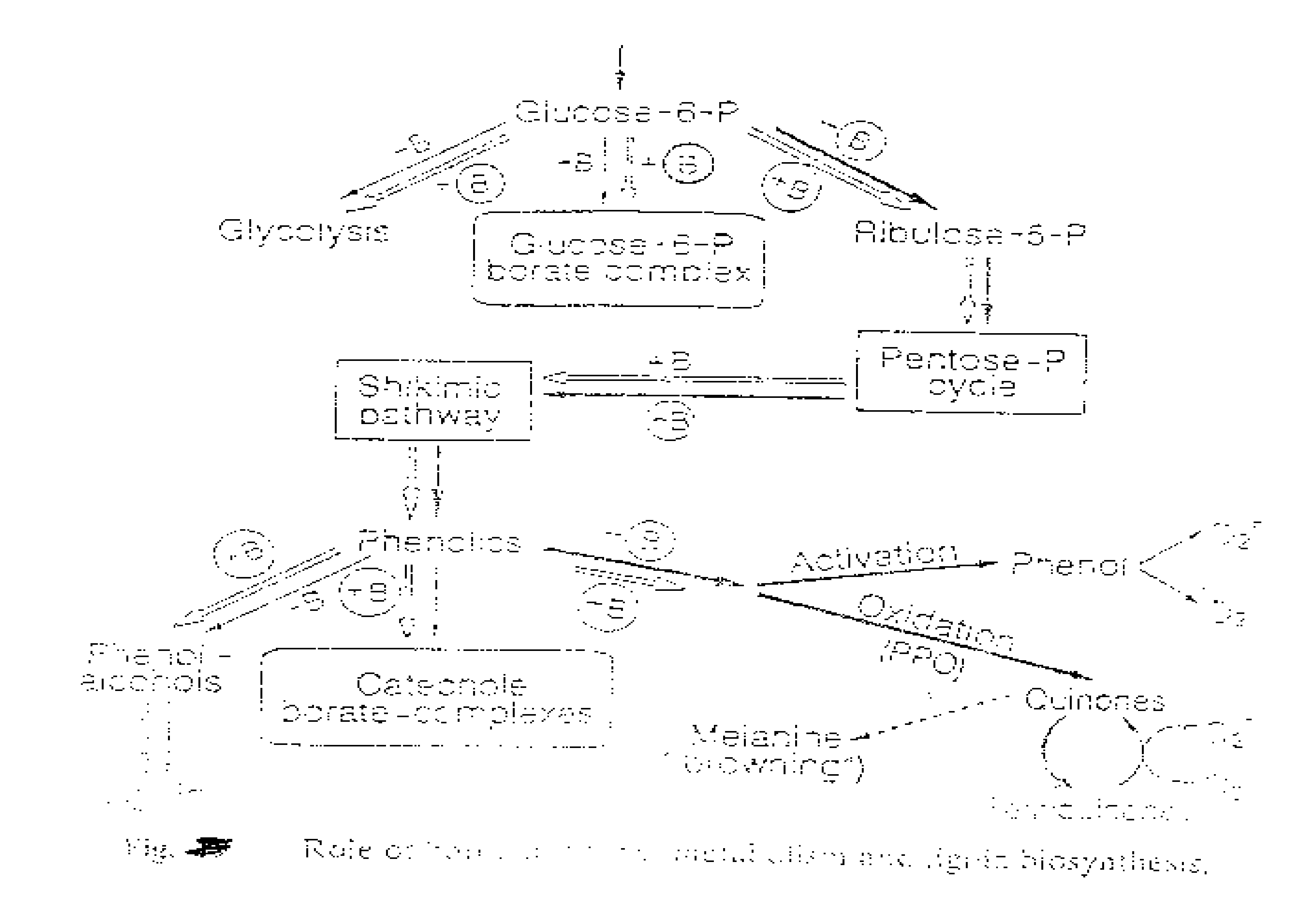
٧ ــ أيض IAA .

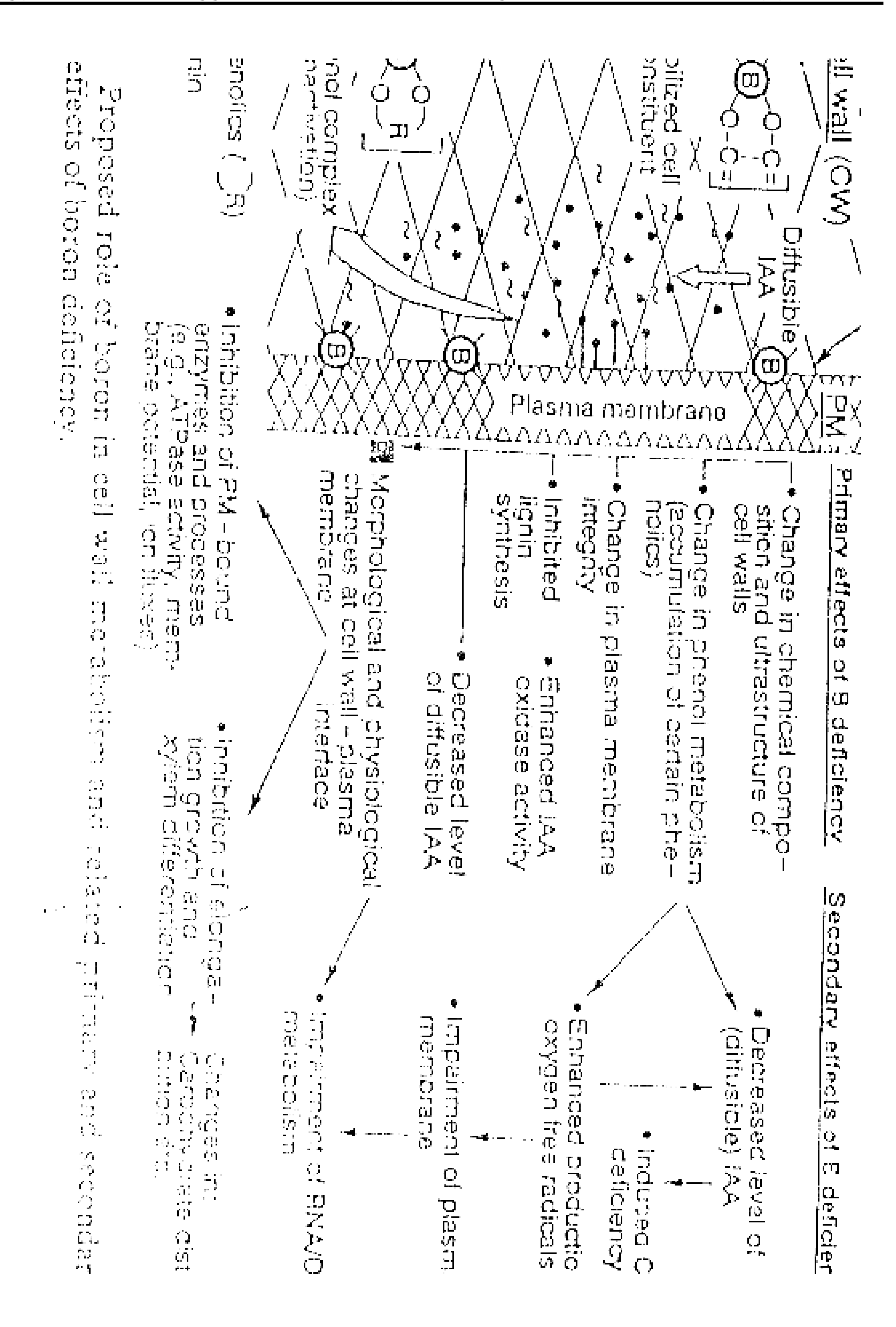
٨ ــ أيض الفينولات.

٩ ــ الأغشية البلازمية.

والمخططان التاليان يوضحان العديد من الأدوار التى يلعبها البورون:

- **نقص البورون يؤدى إلى نقص شديد فى كفاءة عملية البناء الضوئى كما أنه يؤثر على شكل وتركيب الكلوروبلاست.**
- **نقص البورون يؤدى إلى نقص تحول الجلوكوز الناتج من البناء الضوئى إلى مركبات عديدة التسكر مثل السليلوز والذى يقل محتواه وبالتالى يتأثر بناء مادة الجدار الخلوى.**


Glucose-6-P
Glycolysis
Glucose-6-P borate complex
Ribulose-5-P
Pentose-P cycle
Shikimic pathway
Phenolics
Phenol-alcohols
Catechole borate-complexes
Activation
Phenol
Oxidation (PPO)
Quinones
Melanine (browning)



Proposed role of boron in cell wall metabolism and related primary and secondary effects of boron deficiency.

§ **نقص البورون يؤثر بشدة على المحتوى من الأحماض الأمينية ونشاط بعض الإنزيمات المختصة بتحولات النيتروجين وكذلك N-reduction , الأحماض النووية.**

(٧) الموليبدنيوم (Molybdenum)

§ القليل من الإنزيمات المرتبطة بالموليبدنيوم (Mo) هو المعروف ومنها:

- **NO_3-reductase**
- **SO_3-oxidase**
- **Nitrogenase**
- **Xanthine dehydrogenase**
- **Nodulated legumes enzymes**

§ نقص Mo يؤدى إلى نقص واضح فى عملية البناء الضوئى ويؤثر على تفاعل هيل (Hill reaction) كما يؤثر أيضاً على تركيب وشكل الكلوروبلاست.

§ كما يؤدى نقص Mo إلى زيادة المحتوى من المركبات النيتروجينية الذائبة (Soluble N-compounds) مثل Ribonuclease activity & Amides بينما حدث نقص واضـــح فى المحتوى من البروتين Alanine amino-transferase.

٨. الصوديوم (Sodium):

§ الصوديوم مهم جداً لمعظم النباتات رباعية الكربون بينما ليس له أهمية كبيرة للنباتات ثلاثية الكربون

§ فى النباتات رباعية الكربون يلعب الصوديوم Na دوراً هاماً جداً فى تحويل البيروفيت Pyrovate إلى Phosphoenolpyrovate (PEP) فى خلايا Mesophyll cells فى الأوراق .

§ كما أن الصوديوم Na يلعب دوراً هاماً فى تنشيط إنزيمات :

- **PEP-carboxylase**
- **NAD^+-malic enzyme**

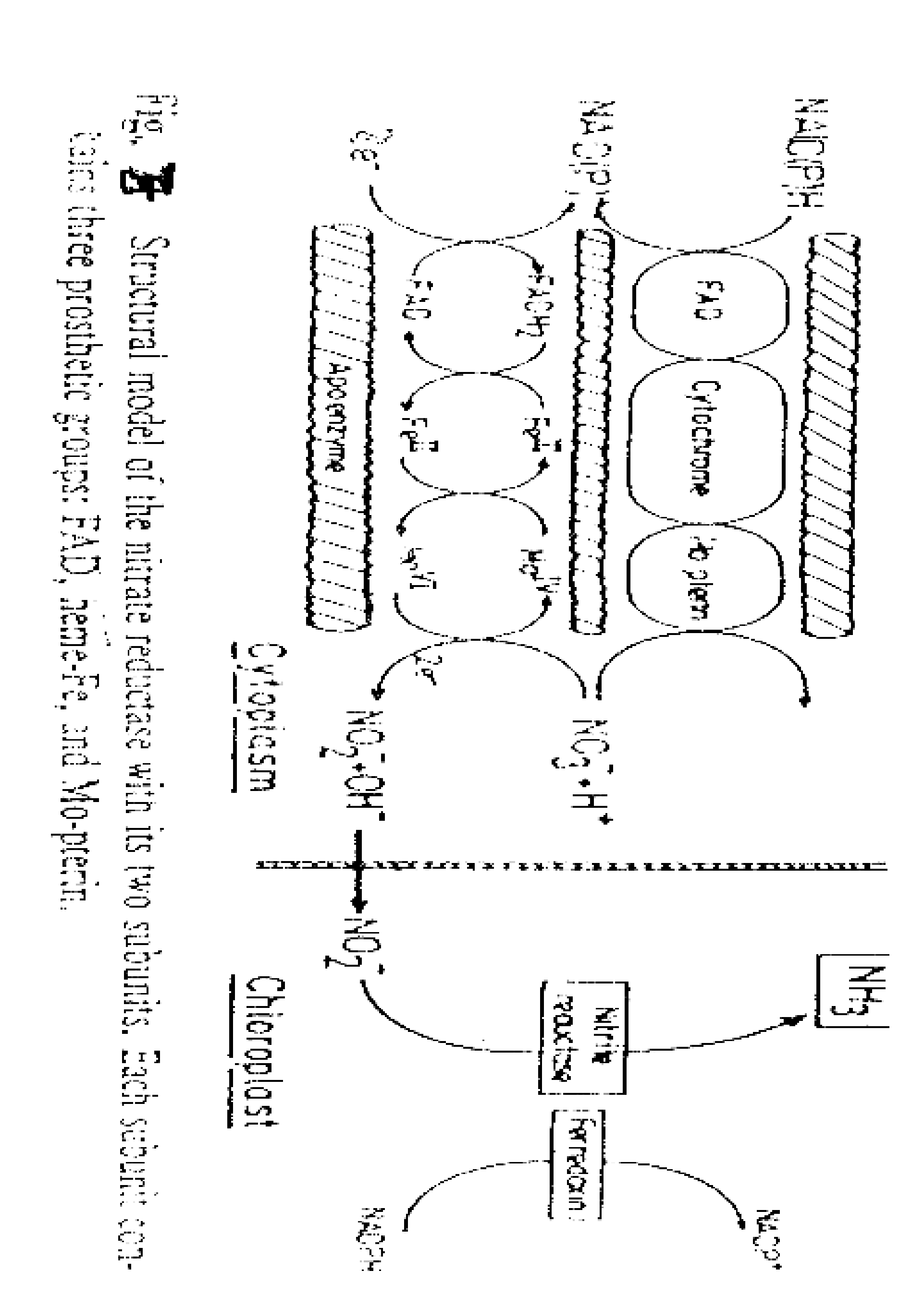


Fig. [illegible] Structural model of the nitrate reductase with its two subunits. Each subunit contains three prosthetic groups: FAD, heme-Fe, and Mo-pterin.

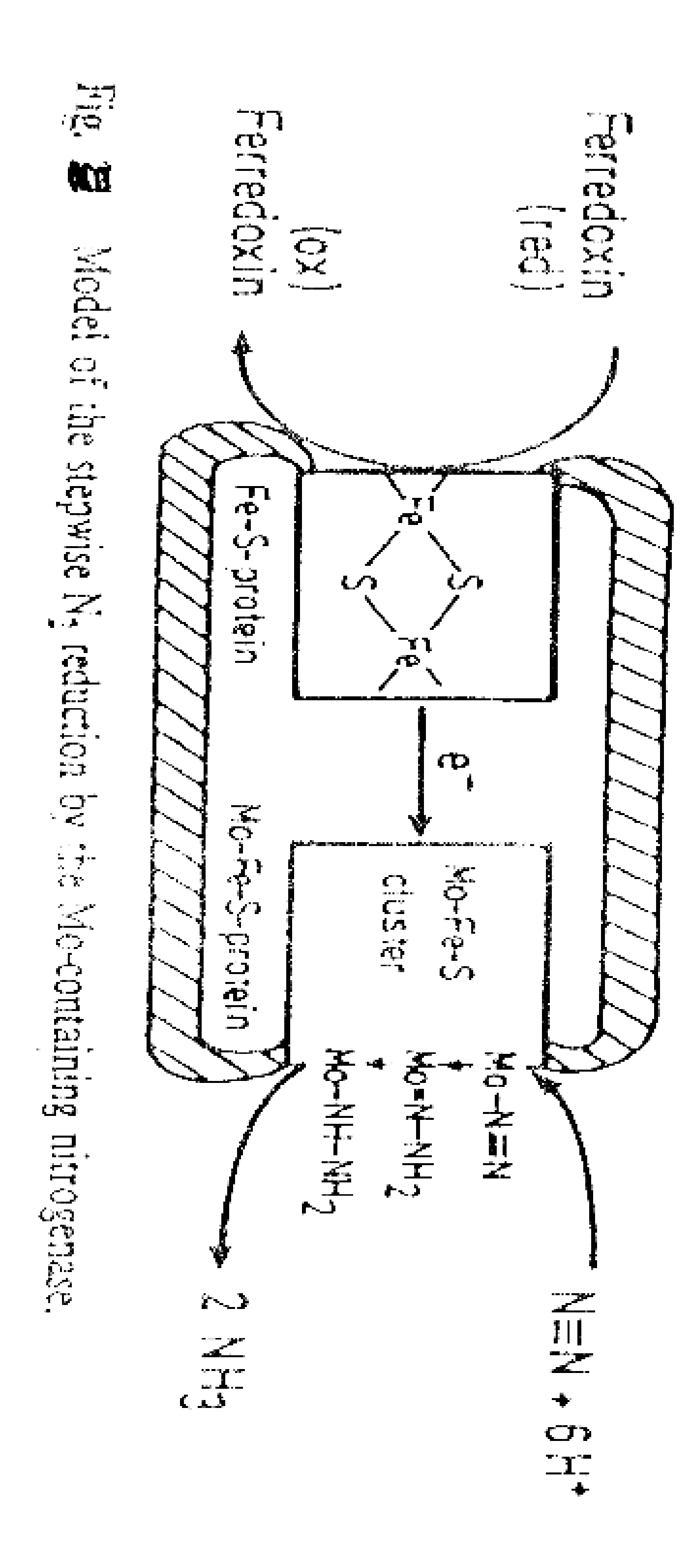


Fig. [illegible] Model of the stepwise N_2 reduction by the Mo-containing nitrogenase.

Table 1. Summary of the function of nutrient elements in photosynthesis.

Element	Role
Nitrogen	**General constituent of photosynthetic apparatus (proteins, chlorophyll and membrane constituents); NH_4^+ inhibitory.**
Phosphorus	**Active in energy transfers(APT, NAD and NADP),carbohydrate synthesis (starch and sugars), protein synthesis- cell membranes (phospholipid) and translocation of end products.**
Potassium	**Stomatal movement, transport of end products; balance between photosynthesis and respiration.**
Calcium	**ATP synthesis ; control plant membrane functions and enzyme activities .**
Magnesium	**Constituent of chlorophyll; catalyst in phosphate transfers.**
Sulfur	**Constituent of proteins.**
Copper	**Constituent of plastocyanin.**
Iron	**Essential for chlorophyll synthesis; constituent of cytochromes and ferredoxin.**
Manganese	**Essential for O_2 evolution.**
Chloride	**Participate in O_2 evolution.**
Zinc	**Carbohydrate metabolism (Carbonic anhydrase).**
Boron	**Carbohydrate metabolism and sugar transport.**
Molybdenum	**affect chlorophyll concentration and chloroplast structures; nitrate reductase (protein synthesis)**
Sodium	**C_4, photosynthesis**

الأكسدة البيولوجية وإنتاج الطاقة
Biological Oxidation and energy production
Respiration التنفس

يحصل الكائن الحي علي الطاقة اللازمة للنمو وإتمام كافة العمليات الحيوية وذلك عن طريق أكسدة المواد الغذائية وتحرير الطاقة الكامنة في تلك المواد الغذائية وحبسها في مركبات ATP . وهو من المركبات الغنية بالطاقة وكذلك تخزن تلك الطاقة في المرافق الإنزيمي $NADPH_2$. وتتم عملية الأكسدة في وجود O_2 وتنطلق الطاقة كما ذكرنا بالإضافة إلي CO_2 والماء . ولا تتحرر الطاقة المخزنة في المادة الغذائية دفعة واحدة بل تتحرر في خطوات متسلسلة من التفاعلات التي تتحكم بها الإنزيمات . والمواد الغذائية التي تستخدم في تحرير الطاقة هى المواد الكربوهيدراتية والدهون والبروتينات ، وعملية تحرير الطاقة خلال عملية التنفس تحدث في الظلام أو الضوء علي حد سواء . في حالة استخدام الكربوهيدرات (النشا) في التنفس كمادة بادئة لإنتاج جزيئات $NADPH_2$, ATP فإنه يلزم تحليل النشا إلي جزيئات أصغر بفعل الإنزيمات المتخصصة حيث يتم تحويلها إلي سكريات أحادية.

نشا —A- amylase→ دكسترين —β- amylase→ مالتوز —maltase→ جلوكوز

وفي حالة استخدام الدهون فيلزم تحللها إلي أحماض دهنيه وجلسرين أنزيميا. وتتأكسد الأحماض الدهنية ويتكون منها acetyl-CoA والذى يدخل مباشرة فى دورة كربس.

Lipids —Lipids→ fatty acids + glycrole

في حالة البروتينات فإنها تتحلل إلي أحماض أمينيه بفعل الإنزيمات المحللة. ثم تتأكسد الأحماض الأمينية بنزع مجموعة Amine(NH_2 -) وينتج الحمض الكيتوني والذي يتحول في النهاية إلي المركب acetyl – Co A والذي يدخل مباشرة في دورة كربس.

Respiratory quotient (RQ) مــعامل الــتنفس

يعرف معامل التنفس علي أنه النسبة بين حجم Co_2 المنطلق من عملية التنفس إلي حجم الأكســوجين O_2 المستهلك في العملية . ويلاحظ اختلاف معامل التنفس (RQ)

$$RQ = \frac{\text{Volume of } CO_2 \text{ evolved}}{\text{Volume of } O_2 \text{ Consumed}}$$

بإختلاف المادة الأساسية المستهلكة أثناء عملية التنفس كما هو واضح من الأمثلة التالية:

في حالة استخدام المواد الكربوهيدراتية كمادة للتنفس . يلاحظ أن معامل التنفس يســاوي الوحــدة أي أن كمية CO_2 المنطلقة تساوي كمية O_2 المستهلكة في عملية التنفس وذلك عند حدوث الأكسدة الكاملة .

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 675.\text{ K cal}$$

$$RQ = \frac{6\ CO_2}{6O_2} \quad (1)$$

يلاحظ أن النسبة بين الكربون والأكسوجين في جزيء الجلوكوز ١ : ١

- **في حالة استخدام الدهون كمادة للتنفس فإن معامل التنفس يكون أقل من الوحدة حيــث أن جزيء الدهن يحتوي علي نسبة عالية من الكربون ونسبة ضئيلة من O_2 وعلي ذلك فإنــه يحتاج إلي كمية كبيرة من O_2 لإتمام عملية الأكسدة**

$$C_{51}H_{98}O_6 + 72.5O_2 \text{ -------- } 51CO_2 + 49C_2O + 759 \text{ Ok .cal}$$

كما هو الحال في حمض ثلاثي البالمتين

$$RQ = \frac{51CO_2}{72.5O_2} = 0.7$$

- **ولذلك فإنها تحتاج إلي قدر ضئيل من O_2 الخارجي لإتمام عملية الأكسدة ويــزداد معامــل التنفس عن الوحدة كما في حمض الماليك**

$$COOH.CH_2CHOH.COOH + 3O_2 \longrightarrow 4CO_2 + 3H_2O + 320 \text{ k.cal}$$

$$RQ = \frac{4CO_2}{3O_2} = 1.33$$

ويمكن استخدام جهاز جانونج لتقدير معامل التنفس للحالات السابقة.

العوامل التي تؤثر في سرعة عملية التنفس

* درجة الحرارة

كل التفاعلات البيولوجية الكيماوية التي تتم بواسطة الإنزيمات ومنها التنفس فإن معدل التنفس يزداد بزيادة درجة الحرارة في المدى الحراري. حيث تنشط عملية التنفس وتزداد بارتفاع درجة الحرارة (١٠ °م) بين درجتي الصفر-٣٥ °م وهذه الزيادة تتراوح قيمتها بين ٢ – ٢.٥ مرة . أي أن المعامل الحراري (Q10) Temperature Coefficient وهو الزيادة في سرعة التنفس نتيجة لزيادة درجة الحرارة عشر درجات مئوية. ويشترط أن يحدث هذا بعيدا عن التأثير السيئ علي البروتوبلازم والإنزيمات.

* تركيز الأكسوجين الخارجي

عموماً لا يتأثر معدل التنفس كثيرا بتغيير نسبة الأكسوجين في الجو من ٢٠ إلي ٥ % أما إذا نقص تركيز الأكسوجين عن ٥ % فإن معدل التنفس يرتفع لحدوث التنفس الهوائي وإلا هوائي معا لإمداد النبات بالطاقة.

* تركيز CO2 في الجو الخارجي

تنخفض سرعة التنفس إذا زاد تركيز CO_2 في الجو المحيط للنسيج النباتي ، وقد استغلت هذه الظاهرة اقتصاديا في حفظ ثمار الفاكهة وكذلك الخضروات. فقد تبين أن حفظ ثمار التفاح في جو يحتوي علي ٥% CO_2 ، ٣% O_2 ، ٩٢% N_2 وعند درجات حرارة ٤-٥ °م . يؤدي ذلك إلي انخفاض سرعة التنفس وغيره من التحولات .وأمكن حفظ هذه الثمار لمدة ٨ شهور بحالة جيدة.

* المادة المستهلكة في التنفس

زيادة تركيز السكريات الأحادية الذائبة يؤدي إلي زيادة في سرعة التنفس وقد لوحظ أنه عند حفظ الأنسجة النشوية كالبطاطس في الثلاجة يؤدي ذلك ارتفاع نسبة السكريات الذائبة بها وبالتالي يؤدي ذلك إلي زيادة معدل النمو بمجرد خروجها من الثلاجة إلي جو الغرفة.

* نسبة الماء في النسيج

يؤدي النقص في المحتوي المائى لبعض الأنسجة النباتية إلي زيادة معدل التنفس . وعندما تقترب الأنسجة من حالة الذبول يتحلل ما بها من نشا إلي سكريات ذائبة مما يؤدي إلي ارتفاع في سرعة التنفس.

- **في حالة الأنسجة العادية مثل أنسجة الأوراق والثمار والدرنات والسيقان والتي تحتوي علي نسبة عالية من الماء. فإن سرعة التنفس بها تكاد لا تتأثر بالتغيرات العادية في محتواها المائي وذلك لأن قدرا كبيرا من الماء الذي تحويه يوجد في صورة حرة.**
- **في حالة البذور فإنها تحتوي قدر ضئيل جدا من الماء ولذلك فإن معدل التنفس في البذور يكاد لا يذكر وذلك يفسر طول عمر البذور الجافة. ولوحظ في حبوب القمح أن معدل تنفسها يزيد بزيادة الرطوبة فيها عن ١٧ % وقد يكون السبب أن المحتوي المائي أقل من هذه النسبة يكون علي صورة ماء مرتبط وعند زيادة الماء الحر تزداد سرعة التنفس.**

* الأملاح

يزداد معدل التنفس إذا تعرض النسيج النباتي لأيونات الأملاح والزيادة في هذه الحالة تسمي بالتنفس الملحي.

ميكانيكية التنفس Mechanism of Rispiration

تقسم عملية التنفس إلي مرحلتين هما:

- **الانحلال الجليكولي Glycolysis ويتضمن التفاعلات التي تتناول تحلل جزيء الجلوكوز حتي يتكون حمض البيروقيك. وتتم هذه العملية في غياب أو وجود الأكسوجين وتفاعلات هذه الدورة لا تحتاج الأكسوجين.**
- **دورة كربس Krebs Cycle وتعرف بدورة حمض الستريك ويتم فيها أكسدة حمض البيروقيك الناتج من التفاعل السابق من خلال دورة الانحلال الجليكولي. وتتم أكسدته هوائيا إلي ثاني أكسيد الكربون والماء ، وتتم هذه العملية تحت الظروف الهوائية فقط.**

دورة الانحلال الجليكولي Glycolysis

هذه الدورة تتم في وجود أو عدم وجود O_2 لأن تفاعلات هذه الدورة لا تحتاج إلي O_2 وتتضمن هذه الدورة التغيرات التي تطرأ علي جزيء الجلوكوز من البداية حتي يتكون حمض البيروفيك. كما يطلــق علــي هــذه الدورة أيضا Embden – Meyerhof – Parans Pathway وسميت كذلك لأن هؤلاء العلماء قد حققوا العديد من الإنزيمات والمركبات الوسيطة لهذه الدورة.

وتتم تفاعلات هذه الدورة من السيتوبلازم ويعتبر مسلك (EMP) المسلك الرئيسي والأساسي الذي يتحــول فيه الجلوكوز أو المركبات الوسيطة إلي بيروفات. ويتضمن هذا المسلك التحولات الداخلية للسكريات ونقــل مجاميع الفوسفات والتحول النهائي لمركب واحد سداسي الكربون إلي مركبين ثلاثيا الكربــون وهــو كــذلك مسلك لا هوائي يتكون فيه بعض جزيئات $NADPH_2$, ATP .

ويكون التفاعل في صورته الإجمالية كالتالي

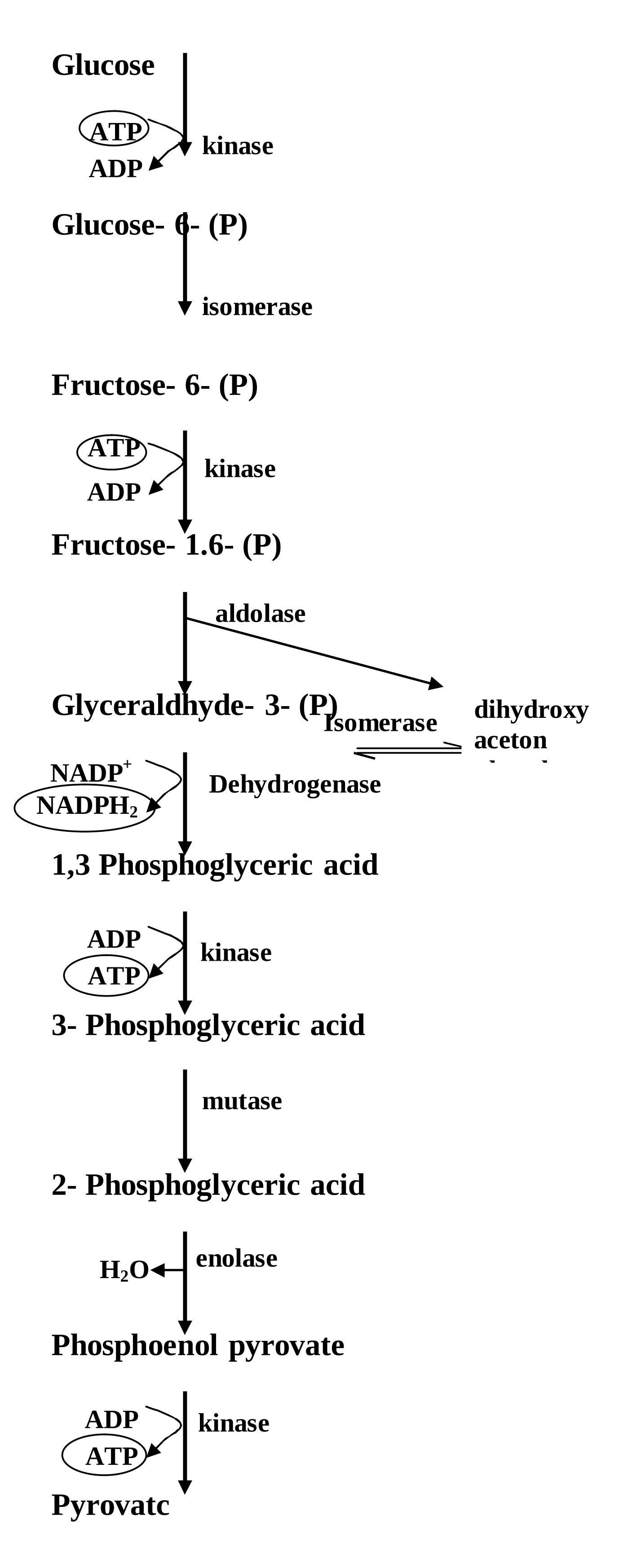
Glucose + 2 ADP + 2 Pi +2 NADP ⟶ 2 Pyrovate + 2 ATP + 2 NADPH2

يلاحظ من دورة الانحلال الجليكولي أن أكسدة جزيء الجلوكوز من خلال التفاعلات السابقة تعتبر غير تامة ولذلك فإن الطاقة الناتجة ضئيلة نسبياً. وتحسب الطاقة في صورة جزيئات $NADPH_2$, ATP

ويمكن حساب الطاقة في دورة الانحلال الجليكوني كالتالي

- **يحتاج جزيء الجلوكوز إلي ٢ جزيء ATP حتى يتحول إلي فركتوز ثنائي الفوسفات.**
- **ينطلق ٢ جزيء ATP الأول عند تحويل 1,3 PGA ⟵إلى⟵ 3,PGA والثــاني عنــد تحويل PEP إلي بيروفات وكل منهم يمثل نصف جزيء جلوكوز . وبالتالي فإن الطاقــة الناتجة تصبح ٤ جزيئات ATP لكل جزيء جلوكوز.**
- **في مرحلة تحول ٣ - فسفو جلسرالدهيد إلي PGA – 1.3 نتج عنــه جــزيء واحــد $NADPH_2$ أي أن جزيء الجلوكوز ينطلق عنه ٢ جزيء $NADPH_2$.**
- **إجمالي الطاقة الناتجة من خلال دورة الانحلال الجليكولي ٨ جزيئات ATP .**
- **والمخطط التالي يوضح الخطوات المتعاقبة التي تفسر مسلك الانحلال الجليكوني EMP**

Glycolysis دور الانحلال الجليكولى



دورة كـــربس (دورة حمض الستريك ، دورة الأحماض ثلاثية الكربوكسيل)
Krebs Cycle (citric acid cycle , Tricarboxylic acid cycle)

لقد عرفنا مما سبق أن عملية تكسر الكربوهيدرات تحت الظروف اللاهوائية تنتهي بإنتاج حمض البيروفيك من خلال مسلك (EMP). فإذا توفر O_2 بدرجة كافية تحدث لحمض البيروفيـك عمليـة أكسـدة ونـزع مجموعة الكربوكسيل ليعطي acetyl coenzyme A وهذا التفاعل معقد ويحتاج إلي توفر خمس عوامـل أساسية حتى يتم وهي:

(١) TPP) Thiamim pyrophosphate)
(٢) أيونات الماغنسيوم.
(٣) NADP
(٤) Coenzyme – A (CO – A)
(٥) حمض الليبويك Lipoic acid

ويعتبر acetyl CO - A هو الوصلة الرابطة بين الانحلال الجليكولي ودورة كربس. وعـن طريـق دورة كربس ونظام نقل الإليكترون تتم أكسدة البيروفات أكسدة تامة إلـي H_2O ، CO_2 أي أن الأكسـدة التامـة لجزيء الجلوكوز تحدث من خلال مسلك الانحلال الجليكولي ودورة كربس ونظام نقل الإليكترون.

وتفاعلات دورة كربس ونظام نقل الإليكترون يحتاج إلي توفر O_2 وتحدث هذه التفاعلات في الميتوكونـدريا ونحصل من خلالها علي ٣٨ جزيء ATP لذلك فإن دورة كربس تكون فعالـة جـدا فـي تحريـر الطاقـة بالمقارنة بالانحلال الجليكولي أو التخمر.

إذن المركب acetyl CO – A والناتج من أكسدة البيروفيك يتم نـزع CO_2 وانطـلاق طاقـة مختزلـة $NADPH_2$. يتم استقبال هذا المركب acetyl CO – A بواسطة Oxalacetic acide (OAA) والذي يحتوي علي ٤ ذرات كربون فينتج مركب يحتوي علي ٦ ذرات كربون وبهذا المركب ٣ مجاميع كربوكسـيل وهو حمض الستريك. وبالنظر إلي تفاعلات الدورة بالتفصيل يمكن فهم هدم البيروفات في وجود O_2 . وتتم هذه التفاعلات الخاصة بدورة كربس والفسفرة التأكسدية في الميتوكوندريا . وتحتاج تفاعلات هذه الـدورة إلي O_2 . من الدورة يتضح انطلاق ٤ جزيئات $NADPH_2$ وجزيء واحد من $FADH_2$ وجزيء واحد من

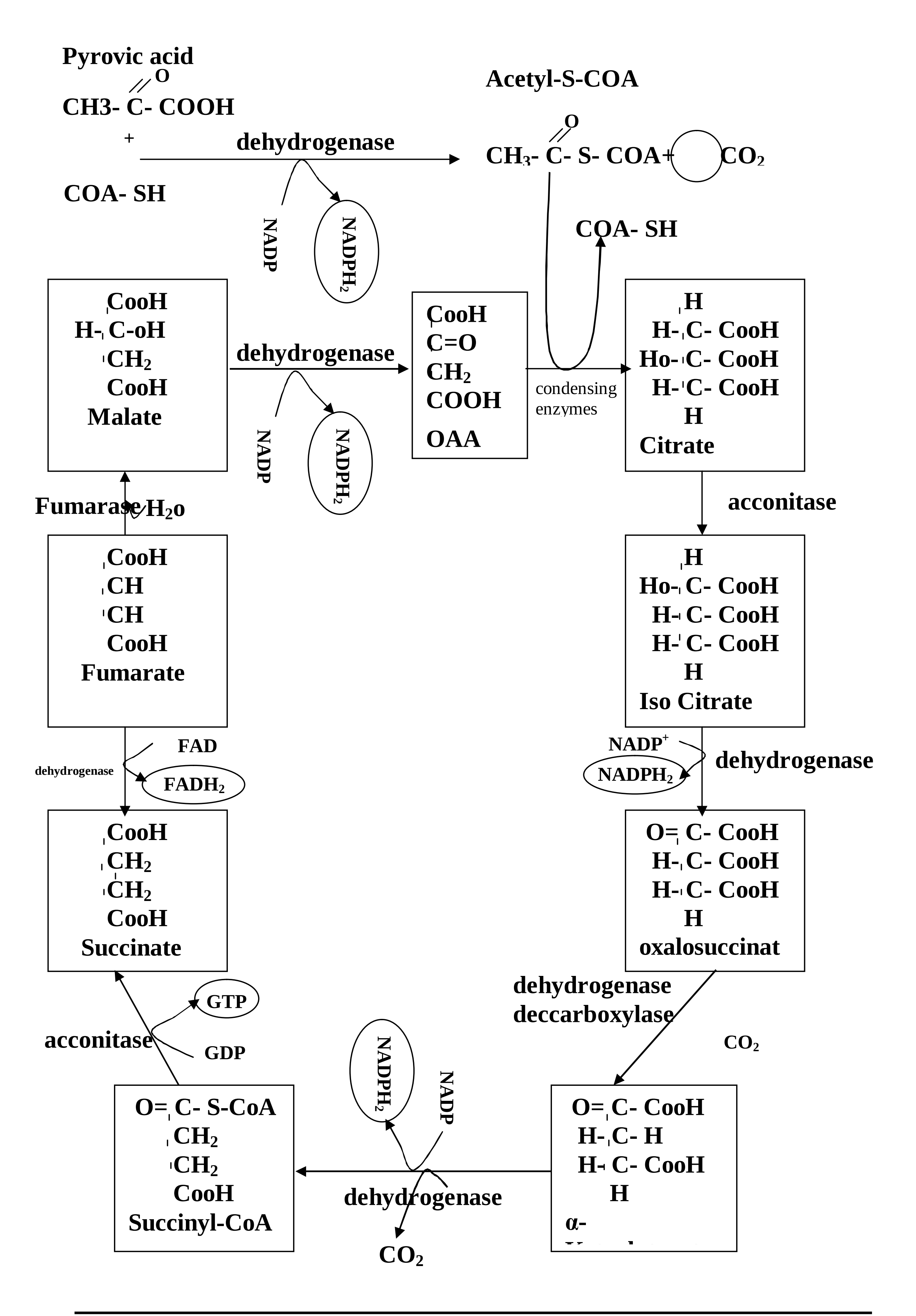
ATP وهذه الطاقة تعادل ١٥ جزيء ATP عند هدم جزيء حمض البيروفيك وهو نصف جزيء جلوكوز . إذن الجلوكوز ينتج عنه ٣٠ جزيء ATP من خلال دورة كربس. وحيث أن الانحلال الجليكولي ينتج عنـــه طاقة ٨ جزيء ATP فيكون إجمالي الطاقة الناتجة عن هدم جزيء الجلوكوز من خلال مســاري الانحــلال الجليكوني وكربس حوالي ٣٨ جزيء ATP وهذه الطاقة المختزنة في صورة ATP تستخدمها الخلية فـــي العمليات البيولوجية المختلفة علي مراحل وهذه العمليات هي علي سبيل المثال:

*** إنقسام الخلايا   * الامتصاص   * حركة البروتوبلازم**

*** انتقال العصارة داخل جسم النبات   * الإنتحاءات**

*** عمليات البناء المختلفة في الخلية من بروتوبلازم وبروتين ودهون .... الخ.**

والمخطط التالي يوضح الخطوات الرئيسية في مسلك (دورة) كربس ومناطق انطــلاق جزيئـــات الطاقـــة وكذلك انطلاق CO_2



Pyrovic acid
O
CH3- C- COOH
+
COA- SH
dehydrogenase
NADP
NADPH2
Acetyl-S-COA
O
CH3- C- S- COA+
CO2
COA- SH
CooH
H- C-oH
CH2
CooH
Malate
dehydrogenase
NADP
NADPH2
CooH
C=O
CH2
COOH
OAA
condensing
enzymes
H
H- C- CooH
Ho- C- CooH
H- C- CooH
H
Citrate
acconitase
Fumarase
H2o
CooH
CH
CH
CooH
Fumarate
H
Ho- C- CooH
H- C- CooH
H- C- CooH
H
Iso Citrate
FAD
dehydrogenase
FADH2
NADP+
NADPH2
dehydrogenase
CooH
CH2
CH2
CooH
Succinate
O= C- CooH
H- C- CooH
H- C- CooH
H
oxalosuccinat
dehydrogenase
deccarboxylase
CO2
GTP
acconitase
GDP
NADPH2
NADP
O= C- S-CoA
CH2
CH2
CooH
Succinyl-CoA
dehydrogenase
CO2
O= C- CooH
H- C- H
H- C- CooH
H
α-

الدور الذي تلعبه دورة كربس في عمليات البناء في الخلية

- **تساهم دورة كربس في إنتاج الطاقة اللازمة لعمليات البناء المختلفة**
- **المساهمة في بناء الأحماض الأمينية فمثلا يتكون حمض الجلوتاميك من الفاكيتوجلوتاريك ، والاسباراتيك من الأوكسالوخليك.**
- **يدخل acetyl CO-A في التحولات الغذائية للدهون.**
- **حمض الفيوماريك يدخل في التحولات الغذائية للنتروجين.**
- **Succinyl - COA يدخل في التحولات الغذائية للدهون كما يدخل في بناء مركبات البورفيرين والتي يتكون منها الكلوروفيلات – الستيوكروم – بعض الإنزيمات الأخرى.**

ويمكن أن نوضح دور المركبات الوسيطة في تفاعلات التنفس وعلاقتها بالمكونات الخلوية كما في المخطط التالي:

المركبات الوسيطة من تفاعلات التنفس		المكونات الخلوية التى يدخل فيها المركبات الوسيطة
Hexose (P)	←	بناء الجدار الخلوى ومكوناته مثل السليلوز الهميسليلوز - الزيلات - الجالاكتات مركبات البكتين - الثيوكلثيرات - الأحماض النووية.
Trios (P)	←	الجليسرول : يدخل فى بناء الدهون والليبيدات تكوين الأحماض الأمينية: السيرين - السستين - البروتين.
PEP	←	الفينولات، ، التيروسين، التربتوفان - الاندول - الانثوسيانين
Pyrovate	←	الإيثانول - حمض اللاكتيك - الحمض الأمينى الانين
Acetyl.Co.A	←	الكاروتنيويدات - بناء الهرمونات وخاصة السلاسل الجانبية لكل من السيتوكينين - ABA - GA - بناء الكيوتيكل - بناء الدهون - بناء البروتين.
Oxalacetic acid	←	تكوين الحمض الأمينى اسبارتيك والذى بدوره يدخل فى تكوين كل من pyrimidines, alkaloids الأحماض النووية والبروتين.
α- Ketoglutaric	←	تكوين الحمض الأمينى جلوتاميك
Succinyl-CoA	←	الكلوروفيللات ــ السيتوكرومات ــ الفيتوكروم ــ الفيكوسيانين

نــظام نــقل الإلــكترون والــفسفرة
Electron transport system and Phosphorylation

يوجد ارتباط وثيق بين النواتج المختزلة لدورة كربس مع نظام نقل الإلكترون ومن هذا الارتباط يعاد أكسـدة المرافقات الإنزيمية المختزلة مثل $FADH_2$, $NADPH_2$ وتستغل الطاقة المتحررة عن هذه الأكسـدة فـي تخليق جزيئات ATP من خلال نظام نقل الإليكترون مع استعمال O_2 كمستقبل نهائي وتسمي هذه العملية بالفسفرة التأكسدية Oxidtive phosphorylation ومن الجدير بالذكر أن هـذه العمليـة تحـدث فـي الميتوكوندريا وخاصة علي النموات المقبضية المتواجدة علي الكرستيا . ويمكن عرض الفسفرة التأكسـدية بالطريقة المبسطة التالية :

$$NADPH \xrightarrow{\downarrow ATP} FADH_2 \xrightarrow{\downarrow ATP} Quinon \xrightarrow{\downarrow ATP} cyt\ b\ ,\ c \xrightarrow{\downarrow} cyt\ .f \text{ -- } 1/2\ O_2 \longrightarrow H_2O$$

التنفس اللاهوائي Anaerobic Respiration

البيروفات الناتج من دورة الانحلال الجليكوني وفي ظروف لا هوائية أي في غياب O_2 ينتج عنـه مركبـات مثل كحول الإيثايل وتعرف هذه العملية بالتخمر الكحولي وقد وينتج عنه حمض اللاكتيك وتسمي فـي هـذه الحالة بالتخمر اللاكتيكي، وقد يتكون بعض المركبات الوسيطية الأخرى مثل الاسيتالدهيد وحمض الخليك.

* التخمر الكحولي Alcohol Fermentation

تحدث هذه العملية في النباتات الراقية تحت ظروف خاصة حيث يتجـزأ الجلوكـوز مـن خـلال الانحـلال الجليكوني إلي البيروفات والذي بدوره يتحول إلي كحول تحت ظروف لا هوائية.

$$\textbf{Pyrovate} \longrightarrow \textbf{acetaldehyde} + \textbf{CO}_2$$

$$\textbf{Acetaldehyde} + \textbf{NADPH}_2 \longrightarrow \textbf{Ethanol} + \textbf{NADP}$$

يلاحظ استهلاك جزيء $NADPH_2$ في هذا التفاعل لكل جزيء بروفات وهي تعادل ٣ جزيئـات ATP أي أنه يستهلك ٣ جزيئات ATP لكل جزيء جلوكوز. وعندما يتم احتراق الجلوكوز من خـلال دورة الانحـلال الجليكولي والتخمر الكحولي أي في ظروف لا هوائية فيكون مجموع الطاقة الناتجة هي: ٨ جزيئـات ATP من الانحلال الجليكولي واستهلاك ٦ جزيئات ATP في التخمر الكحولي فتكون المحصلة ٢ جزيء ATP

* التخمر اللاكتيكي Lactic Fermentation

هذا النوع من التخمر بواسطة بعض أنواع البكتيريا والطحالب وفي أنسجة العضلات في الحيوان.

$$Pyrovate + NADPH_2 \xrightarrow{dehydrogenase} CH_3\text{-}CHOH\text{-}COOH + NADP$$

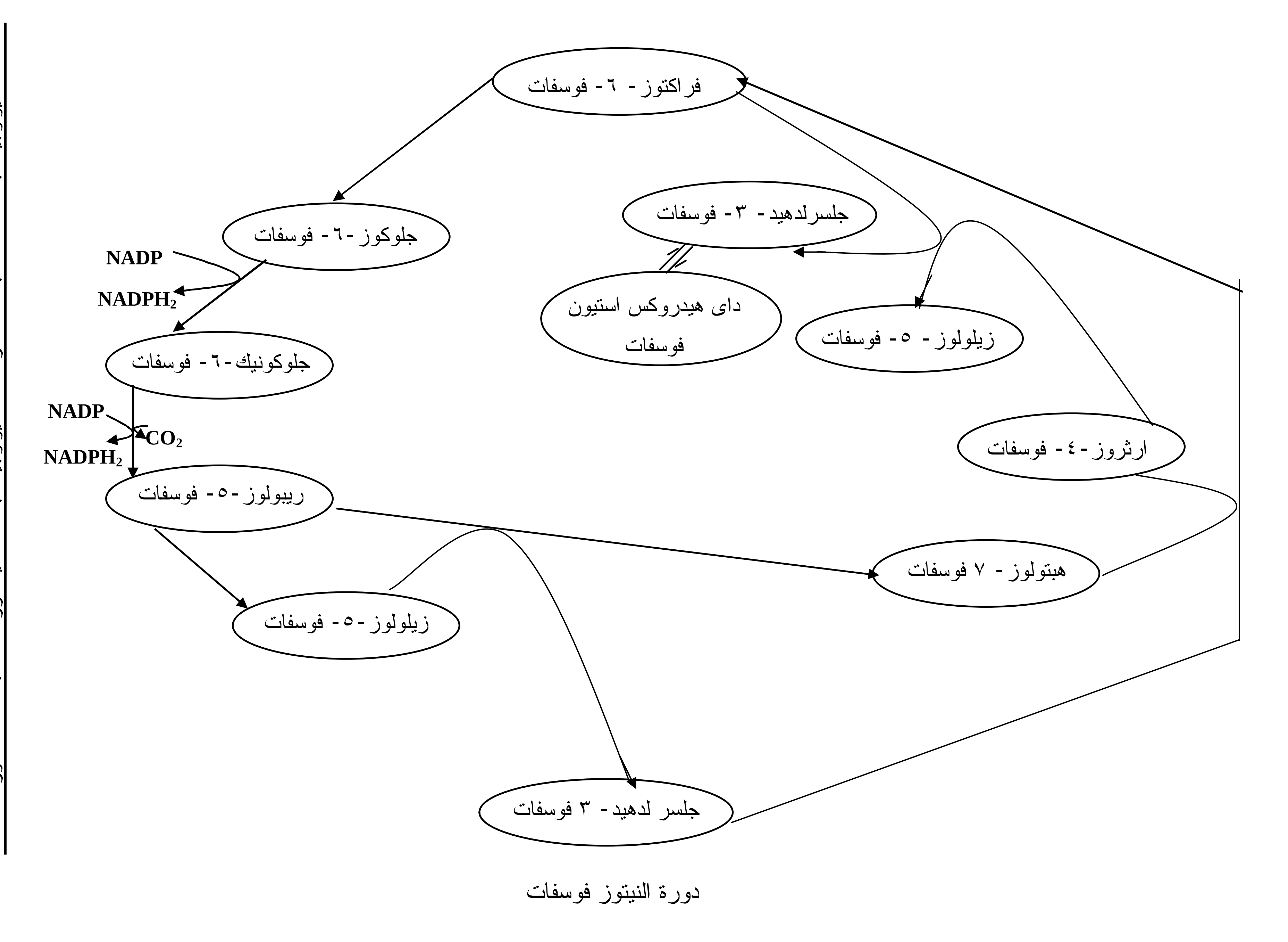
يلاحظ عدم انطلاق CO_2 في هذا النوع من التخمر.

* دورة البنتوزفوسفات Pentose phosphate pathyway

تتم هذه الدورة في النباتات الراقية والدنيئة وكذلك في النباتات اللاهوائية ولا يدخل O_2 فـــي هــذه الـــدورة ولكنها تتم في وجوده. وتتم عملية أكسدة الجلوكوز عن طريق نزع الهيـــدروجين وكـــذلك مـــن المركبـــات الوسيطة وانتقال هذا الهيدروجين إلي المرافق الإنزيمي NADP . وفي النهاية ينطلق CO_2 وطاقة مختزلة في صورة $NADPH_2$ وتتم تفاعلات هذه الدورة في سيتوبلازم الخلية حيث تتواجد الإنزيمات الخاصة بهـــا والمعادلة الإجمالية لهذه الدورة هي:

$$6Glucose\ 6P + 12\ NADP \longrightarrow 6\ CO_2 + 12\ NADPH_2$$

ولمعرفة الخطوات العديدة لهذه الدورة وكذلك المركبات الوسيطة يمكن الرجوع إلي الرسم التفصيلي التالي:



دورة النيتوز فوسفات

هــدم الــدهون Degradation of Fats

عند استخدام الدهون كمادة للحصول علي الطاقة من خلال عملية التنفس يلاحظ بوضوح وخاصــة البــذور الزيتية وأثناء الإنبات حدوث تحلل إنزيمي أولا للدهون وفي وجود الماء إلي أحمض دهنيه وجلسرول

$$\text{Lipids} \xrightarrow{\text{lipase}} \text{Fatty acids + glycerol}$$

الجليسرول

قد يتحول إلي داي هيدروكسي اسيتون فوسفات أو بيروفات أو يدخل في دورة الانحلال الجليكولي.

* الأحماض الدهنية: يتم هدم الأحماض الدهنية من خلال **B- oxidation** إلي **acetyl co-A** والتي تــدخل بدورها في دورة كربس للحصول علي الطاقة وتحدث هذه الخطوات في الميتوكوندريا.

* قد يتم هدم الأحماض الدهنية وخاصة في الفلقات أثناء الإنبات أو في الأوراق الصغيرة للنباتات من خلال **α - oxidation** حيث يتم نزع مجموعة الكربوكسيل في كل مرة وانطلاق CO_2 وهذا النوع مــن الأكســدة أقل محصول الطاقة عن **B - oxidation**

الأكسدة فى الوضع الفا للأحماض الدهنية α- oxidation

هذا النوع من الأكسدة أقل أهمية من حيث إنتاج الطاقة ويعتمد هذا التفاعــل أساســاً علــى نشــاط إنــزيم البيروكسيدير **Peroxidase** فى وجود H_2O_2 حيث يتم التخلص من ذرة الكربون الطرفية مع كل تفاعل.

$$\text{R-CH}_2\text{- CH}_2\text{ CooH} \xrightarrow[\text{Peroxidas}]{H_2\ O_2} \text{R-CH}_2\text{. CHO+ Co}_2\text{+ 3H}_2\text{o}$$

$$\underset{\text{aldehyde}}{\text{R-CH}_2\ \overset{\text{O}}{\overset{/\!/}{\text{C}}}\text{-H}} \xrightarrow[\text{NADP}]{H_2\ O_2} \text{R. CH}_2\text{- CooH+ NADPH}_2$$

يلاحظ انطلاق جزئ طاقة مختزلة $NADPH_2$ لكل جزئ Co_2 منطلق فى هذا التفاعل. ويكثر حدوث هــذا التفاعل فى أوراق النباتات الحديثة. عند هدم جزئ من حمض البالمتيك ١٦ ذرة كربون ينتج ١٥ جــزئ

NADPH2 ويكون إجمالى الطاقة الناتجــة = $15\ NADPH_2 \times 3$ = ATP45 وعلـــــى اعتبـــار أن

الطاقة المخزنة فى جزئ ATP= ٧ كيلـــو كالورى وأن الطاقـــة الكلية المخزنة فـــى حمــض البالمتيــك =

٢٣٠٠ كيلو كالورى فتصبح كفـــاءة هدم حمض البالمتيك من خلال المسار α- oxidation

<u>٤٥ جزئ ATP× ٧ كيلو كالورى لكل جزئ ATP</u>

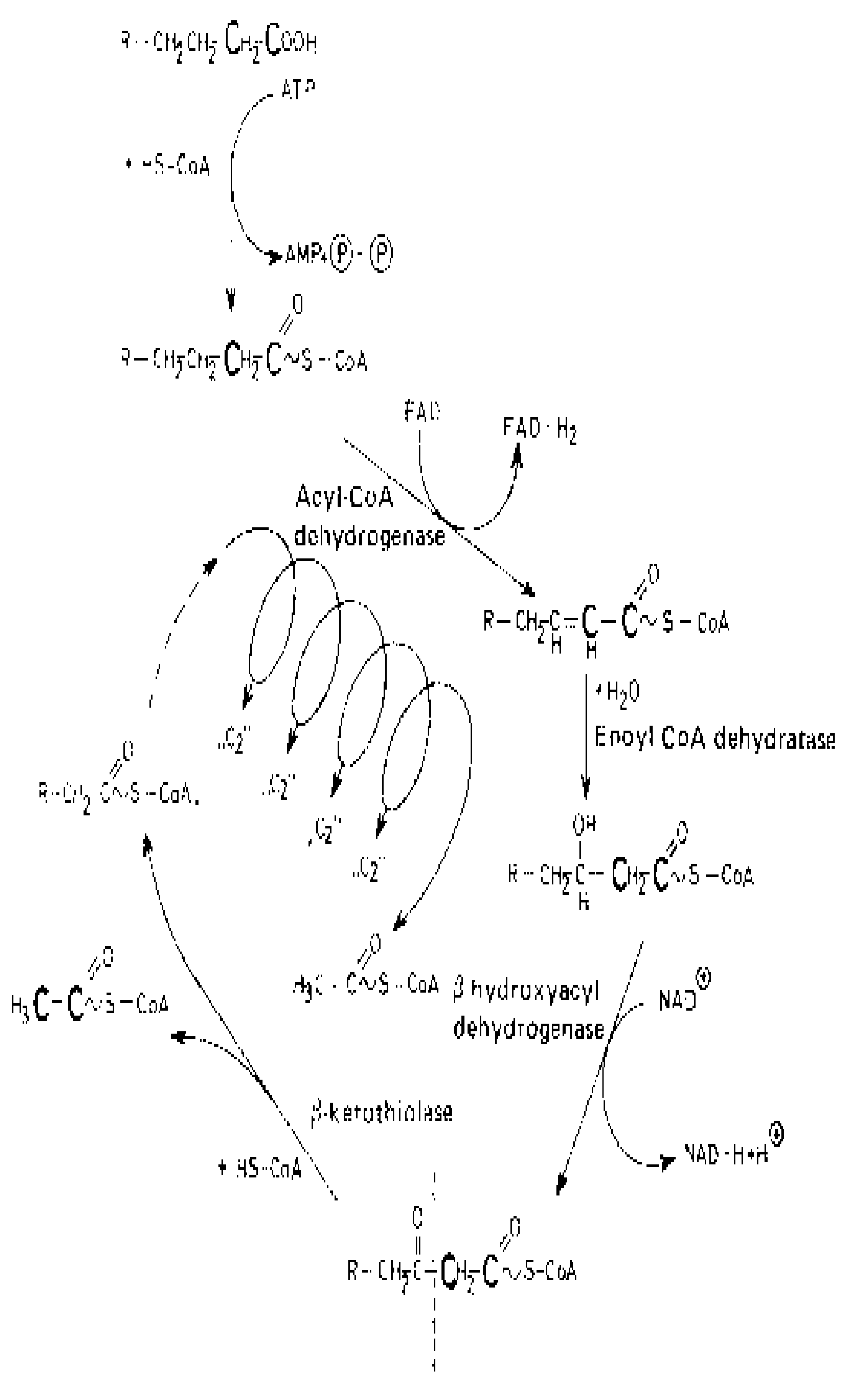
الطاقة الكلية المخزنة فى حمض البالمتيك = ٢٣٠٠ كيلو = ١٤%

الأكسدة فى الوضع بيتا للأحماض الدهنية وانطلاق الطاقة

β- oxidation of fatlyoxids and enesgy production

يتم هدم جزئيات الأحماض الدهنية فى الميتوكوندريا. ويبدأ المسار بتنشيط الحمض الدهنى لتكوين معقد من الحمض الدهنى والمرافق لانزيمى COA فى وجود جزئ الطاقة ATP وإنزيم الكينيز. ويتبـــع ذلــك عـــدة عمليات وخطوات تنتهى بانشطار ذرتين كربون فى صورة المركـــب acetyl- CoA والـــذى ينشـــطر عـــن الحمض الدهنى ثم تتكرر هذه الدورة عدة مرات حيث يتم تحويل الحمض الدهنى كله إلى جزئيات من ذرتين كربون في صورة acetyl. CoA.

أما عن خطوات الأكسدة فى الوضع بيتا فيمكن تلخيصها فى الآتى:



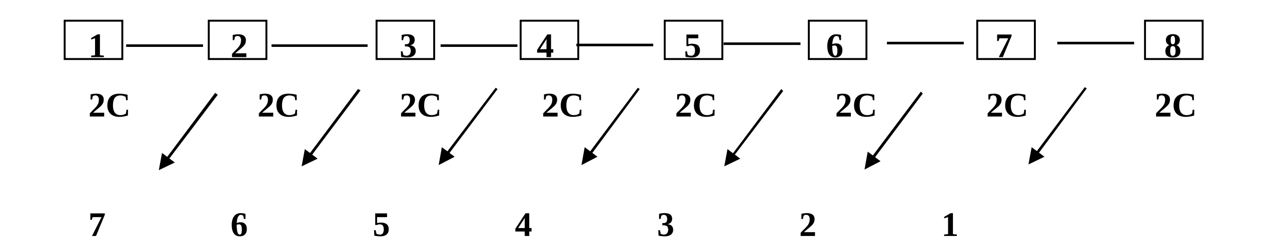
Reaction sequence in β-oxidation of a fatty acid

يتضح من الخطوات استهلاك جزيء ATP لتنشيط التفاعل الكلى وينتج طاقة عبارة عن جزئى واحد $FADH_2$ وجزئ واحد $NADPH_2$ لكل جزئى acetyl CoA منتج. وبذلك ينتج عدد ٥ خمسة جزئيات ATP لكل جزئى منتج من acetyl CoA.

وعند اتخاذ حمض البالمتيك كمثال لهدم الأحماض الدهنية من خلال المسار β-oxidation يتضح الآتى:

"Degradation Palmitic acid"

من المعروف أن حمض البالمتيك يحتوى على ١٦ ذرة كربون. فيتم تكسير حمض البالمتيك وهدمه من خلال β-oxidation وذلك على مراحل وفى كل مرحلة ينتج جزئ acetyl CoA يحتوى على 2C ذرة كربون وفى النهاية ينتج ٨ جزيئات acetyl- CoA.



* عدد مرات الانشطار

من المعروف أنه عند انطلاق أو انشطار جزئ acetyl. CoA تنطلق طاقة مكونة من $FADH_2$ + $NADPH_2$ = ٥ جزئيات ATP. وأنه لكى يتم هدم جزئ واحد من البالمتيك فإن ذلك يتم على مراحل فى كل مرحلة ينتج جزئى acetyl-CoA ويصحب ذلك انطلاق طاقة.

٧ مراحل هدم أو انشطار × ٥ جزئيات طاقة ناتجة لكل جزئ acetyl CoA = ٣٥ جزئ ATP.

ومن المعروف أيضاً أنه سبق استهلاك جزئ واحد ATP لتنشيط التفاعل فى بدايته. إذن محصلة الطاقة الناتجة لهدم حمض البالمتيك إلى ٨ جزئيات acetyl CoA = ٣٥ جزئ ATP - ATP مستهلك = ٣٤ جزئ ATP.

ومن دورة كربس يتضح أن هدم جزئ واحد من acetyl CoA بصورة كاملة إلى Co_2، H_2o فإنــه ينــتج طاقة مقدارها ١٢ جزئ ATP. وعند هدم ٨ جزئيات acetyl CoA والمنشطرة من حمض البالمتيك وعند هدمها من خلال دورة كربس فإنه ينتج طاقة مقدارها= ٨ جزئيات acetyl CoA × ١٢ جزئ ATP لكــل جزئ acetyl CoA= ٩٦ جزئ ATP.

إذن إجمالى الطاقة الناتجة من هدم ١ مول من حمض البالمتيك من خلال دورة كــربس = ٣٤ ATP (فــى مرحلة إنتاج وانشطار acetyl CoA) + ٩٦ ATP (من خلال دورة كربس) = ١٣٠ جزئى ATP.

ومن المعروف أن الطاقة الكلية المخزنة فى البالمتيك عند انطلاقها تحت الظروف القياســية يكــون مقدارها ٢٣٠٠ كيلو كالورى.

إذاً كفاءة هدم واحد مول من حمض البالميتك من خلال β- oxidation وكذلك دورة كربس

$$= \frac{\text{١٣٠ جزئ ATP × ٧ كيلو كالورى}}{\text{٢٣٠٠ كيلو كالورى}} \times ١٠٠ = ٤٠\%$$

ومكان حدوث β- oxidation: بعض العلماء أكد أن خطوات الأكسدة فى الوضع بيتــا يــتم فــى جســيمات glyoxysomes فى حالة إنبات بذور الخروج. كما أكد البعض الآخر حــدوثها فــى Mitochondria فــى حالة إنبات بذور الفول السودانى.

الــتنفس الــضوئى Photorespiratrion

التنفس العادى يحدث فى الميتوكوندريا سواء فى الضوء أو الظلام وفى جميع أنواع الخلايــا الحيــة. أمــا التنفس الضوئى فلا يحدث إلا فى الضوء أثناء عملية البناء الضوئى وفى حالة زيادة تركيــز O_2 ولا ينــتج عنه انطلاق طاقة ولكن يحدث استهلاك O_2 وانطلاق Co_2. والتنفس الضوئى يختلف عن التنفس الظلامــى فى عدة أمور منها:

(١) لا يحدث للتنفس الضوئى تثبيط بواسطة مثبطات التنفس الظلامى والذى يتم فى الميتوكوندريا.

(٢) لا يصاحب التنفس الضوئى انطلاق جزئيات طاقة.

(٣) للتنفس الضوئى علاقة بتنظيم وتوازن الطاقة المختزلة الناتجة من عملية البناء الضوئى حيث يتم استهلاك بعضها وأكسدتها بواسطة O_2 الناتج من التنفس الضوئى.

(٤) يحدث التنفس الضوئى فى جسيمات **peroxysomes** (بالتعاوون مع الميتوكوندريا والبلاستيدات) وهى منتشرة فى السيتوبلازم أما التنفس الظلامى يحدث فى الميتوكوندريا فقط.

(٥) التركيز العالى من Co_2 يثبط التنفس الضوئى.

(٦) يحدث التنفس الضوئى بدرجة عالية فى النباتات ثلاثية الكربون بينما قد ينعدم فى النباتات رباعية الكربون وذلك لتوفر Co_2 بتركيز مرتفع فى الكلوربلاست.

(٧) يقلل التنفس الضوئى كفاءة عملية البناء الضوئى بنسبة ٥٠ - ٨٠% فى C_3.

1- high Co2		1- Low Co2
2- Low O2		2- High O2
3- Low temperature		3- High temperature
PGA ←	RUBP	→ Phosphoglycolate
4- Low irradiance		4- High irradiance

السكر الخماسى والمستقبل

Co2 فى البناء الضوئى

فى نباتات C3

← Photosynthesis → ← → Photorespiration

يتبادر إلى الذهن سؤال مهم لماذا التركيزات المرتفعة من O_2 مثبطة للبناء الضوئى فى النباتات C_3.

(١) أن O_2 ينافس CO_2 على الاتحاد بالهيدروجين (فى مركبات الطاقة) المختزلة. فبدلا من أن يتم اختزال جزئيات CO_2 إلى كربوهيدرات يحدث أن يختزل O_2 إلى ماء.

(٢) أن O_2 ينافس Co_2 على الاتحاد بالمستقبل RUBP فبدلاً من استقبال الســكر RUBP للغــاز Co_2 وتكوين PGA من خلال عملية البناء الضوئى نجد أن O_2 يؤكسد RUBP إلى phosphoglycolic وبذلك يقل معدل تثبيت Co_2.

الهرمونات النباتية Phytohormones

لوحظ أن معظم الاستجابات الفسيولوجية فى النباتات ترجع إلى مركبات ذات نشاط أوكسينى ومن هذه الاستجابات: استطالة خلايا السيقان والأوراق والجذور & تكشف الخلايا والأعضاء فى تكوين الأزهار ونمو الجنين & تساقط الأوراق والأزهار & الإنتحاءات & تكوين الثمار اللابذرية & السيادة القمية.

والهرمونات والأوكسينات مواد عضوية كيمائية تتواجد بصورة طبيعية فى الأنسجة النباتية ومنها ما هو منشط ومنها ما هو مثبط. كما أمكن أيضاً استحداث مركبات كيمائية لها نشاط مشابه للهرمونات الطبيعية.

ونظراً لكثرة عدد هذه المواد أمكن وضع بعض التعريفات العلمية والتى تحدد نشاط تلك المواد ومن هذه التعريفات:

١ ــ منظمات النبات plant regulators

هى مركبات عضوية غير المغذيات والتى بكميات صغيرة تشجع promote أو تثبط inhibit أو تحور modify العلميات الفسيولوجية فى النبات.

٢ ــ الهرمونات النباتية phytohormones

هى مواد تنتجها النباتات والتى بكميات صغيرة تنظم العمليات الفسيولوجية النباتية وهى تتحرك خلال النبات من أماكن تخليقها إلى أماكن عملها.

٣ ــ منظمات النمو growth regulators أو مواد النمو Growth substances هى مواد تؤثر على النمو.

٤ ــ هرمونات النمو Growth hormones هى الهرمونات التى تنظم النمو.

٥ ــ منظمات التزهير Flowering regulator هى المنظمات التى تؤثر على الأزهار.

٦ ــ هرمونات التزهير Flowering hormones هى الهرمونات التى تشجع منشئات الأزهار وإنمائها.

٧ ــ الأوكسين Auxin هى مواد لها القدرة على تنشيط استطالة الخلايا فى الاتجاه الطولى زيادة غير عكسية.

الأوكـــسينات Auxins

الأوكسينات هى أول نوع من الهرمونات تم اكتشافه. وكلمة أوكسين auxin يونانية معناها ينمو To grow ثم أطلق هذا اللفظ على هرمون النمو الذى ينتج فى قمة الغمد. ولقد ثبت أن الأوكسينات توجد فى جميع النباتات الراقية. وهى منشطات النمو.

تعريف الأوكسين طبقاً للعالم ثيمان Thimann

يستعمل لفظ أوكسين للدلالة على المادة العضوية التى تزيد النمو زيادة غير عكسية علـــى طـــول المحـــور الطولى إذا أعطيت بتركيزات ضئيلة " أقل من ٠.٠٠١ مول" لسيقان نباتات أمكن تخليصها أو خاليـــة بقـــدر الإمكان من مسببات النمو الداخلية.

ويطلق لفظ أوكسين على مجموعة من المركبات تتشابه كثيرا فى تأثيرها الفســيولوجي رغــم ثباتهـــا فـــى تركيبها الكيميائى ومن بين هذه المواد الأحماض التالية ومشتقاتها:

١ - **Indol acids** (الاندولات) ومن أمثلتها **IAA, IBA, IPYA** .

٢ - **Naphthalene acids** (النفثالين) ومن أمثلتها **Naphthoxy acetic acid & NAA**

٣ - **chlorophenoxy acids** ومن أمثلتها **2,4,5-T & 2,4-D**

٤ - **Benzoic acid** (البنزويك).

الشروط الواجب توافرها فى تركيب الأوكسين

لكى يطلق على مادة ما أوكسينا أو تظهر نشاطاً أوكسينيا يجب أن يتوفر فى تركيبها الجزئى عـــدة شـــروط هى:

* أن تكون ذات تركيب حلقى

وذلك كما فى مركبات الأندول والبنزويك والنفثالين كما يشترط أن تكون الحلقة غير مشبعة أى توجد رابطـــة زوجية واحدة على الأقل فى التركيب الحلقى وأن تكون الرابطة مجاورة للسلسة الجانبية. كما يراعى دخـــول المجاميع الاستبدالية على التركيب الحلقى مثلا يراعى وجود وضع Ortho واحد على الأقل خال فى مركبات الفينوكسى لكى يكون الأوكسين نشطا. أما فى مركبات البنزويك فيلاحظ العكس تماما حيث يلزم شـــغل كـــل

الأوضاع وخاصة Ortho لكى يحدث النشاط الأوكسين وفى مركبات Indol إذا تـم الاسـتبدال علـى ذرة النيتروجين يفقد الأوكسين نشاطه ولذلك يلزم عدم دخول مجاميع استبدالية على نواة IAA وخاصة علـى ذرة النيتروجين .

*** السلسلة الجانبية**

لوحظ أنه لكى يحدث نشاط أوكسين للمركب يجب أن توجد ذرة كربون واحدة على الأقل كقنطرة بين الحلقـة ومجموعة الكربوكسيل. ومن المعروف أنه كلما زاد طول السلسلة الجانبية كلما قل نشاط الأوكسين للمركـب فنجد أن IAA أقوى من IPA وهذا أقوى من IBA.

*** الوضع الفراغى بين التركيب الحلقى والسلسلة الجانبية**

يجب أن يتوفر شروط معينة فى التركيب الجزئى حتى يصبح للمركب تأثير الأوكسـين فقـد تتـوفر جميـع الشروط السابقة فى تركيب الأوكسين لمركب ما، ولكن لا يظهر له نشاط أوكسينى بينما نفس المركب ولكـن المشابه له يظهر له خواص الأوكسين ونشاطه ومثال ذلك المركبات ذات المشابهات الضـوئية والهندسـية. ومن أمثلة ذلك نجد المشابه (D) للأوكسين methyl IAA فعالة أوكسينا بينما المشابه (L) غيـر فعـال. وكذلك المشابه "cis" للمركب Cinamic acid فعال بينما المشابه Trans غير فعال.

لماذا يظهر النشاط الأوكسينى لمشابه بينما لا يظهر للمشابه الآخر لنفس المركب ؟؟

للإجابة على هذا السؤال يجب معرفة أنه لكى يكون الأوكسين مؤثراً وحيوياً يتحتم عليه أن يـرتبط بجـزيء بروتين (مستقبل خلوى) بواسطة رابطتين كيمائيتين وتكون إحدى هاتين الرابطتين عنـد نهايـة السلسـلة الجانبية من ناحية مجموعة الكربوكسيل والأخرى عند الوضع ortho فى الحافـة وعرفـت تلـك العمليـة بنظرية الارتباط فى نقطتين. كما وجد أن بعض المركبات ترتبط بالمستقبل فى ٣ نقاط وسميت هذه العمليـة بنظرية الارتباط فى ثلاث نقاط. وقد يكون السبب راجعاً لبعد المسافة بين الشحنة السـالبة والموجبـة فـى الأوكسين ٥.٥ أنجستروم . كما فى الأمثلة التالية:

مثال ١: نظرية الاتصال فى نقطتين

2,4-D
(Active)

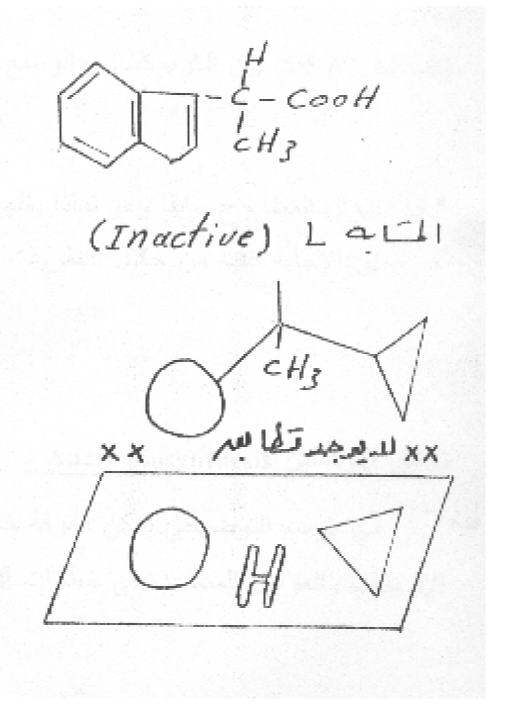
2,6-D
(Inactive)

نظراً لأن الوضع Ortho مشغول فلا يتم الإتصال بالمستقبل ولا يظهر المركب نشاط أوكسيني

مثال ٢: نظرية الاتصال فى ثلاث نقط

(Active) المشابه D

يوجد تطابق



* تخليق الأوكسين Auxin biosynthesis

من الرسم التوضيحى التالى يمكن معرفة خطوات تخليق IAA من مصادره المختلفة فى خطــوات التخليــق المختلفة فى الأنسجة النباتية.

$CH_2—CH—COOH$ / NH_2
tryptophan
tryptophan decarboxylase
CO_2
tryptophan transaminase
NH_3
$\frac{1}{2}O_2$
$CH_2—CH—NH_2$
tryptamine
$CH_2—C(=O)—COOH$
indole-3-pyruvic acid
amine oxidase
NH_3
$\frac{1}{2}O_2$
indolepyruvate decarboxylase
CO_2
$CH_2—C(=O)—H$
indole-3-acetaldehyde
indoleacetaldehyde dehydrogenase
$\frac{1}{2}O_2$
$CH_2—COOH$
indole-3-acetic acid

شكل ١٧

* إنتقال الأوكسين Auxin Transport

أثبتت الدراسات أن انتقال الأوكسين يكون فى اتجاه قطبى أى يتميز بالخاصية القطبية polarity أى الانتقال من القمة المورفولوجية إلى القاعدة المورفولوجية.

والأوكسين ينتقل غالباً فى اللحاء وينتقل منه قطبيا من القمة المورفولوجية إلى القاعــدة المورفولوجيــة وهذه العملية تعتمد على الطاقة ودرجة الحرارة وتتم هذه العملية ضد فروق التركيز. ويمكن تقسيم ظــاهرة

القطبية هذه طبقاً لعدة نظريات وافتراضـــات ففـــى تجــارب Went (1932) &Shrank, (1951) and Leopold & Hall,(1960) حيث وجد أن يتحكم فى ظاهرة القطبية ثلاث عوامل رئيســية وغايــة فـــى الأهمية يتوقف عليها الانتقال القطبى وهى :

١ - الحقل الكهربى (مجال) انتقال الاوكسين أو فرق الجهد الكهربى.

٢ - درجة تركيز IAA

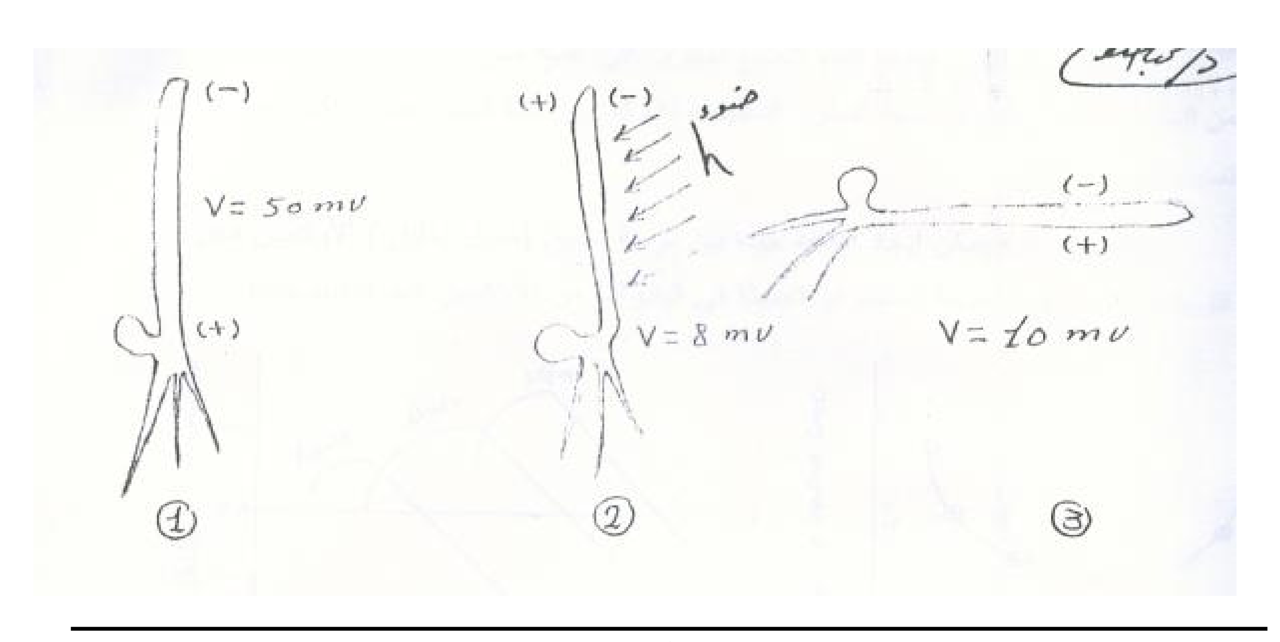
٣ - نفاذية الجدر الخلوية.

ونوضح بعض الأمثلة تشرح وتفسر ظاهرة القطبية فى انتقال الأوكسينات V=10 mv

مثال ١– تأثير الجاذبية الأرضية (ظاهرة الانتحاء الأرضى) حيث يتولد فرق جهد كهربى بين السطح العلوى والسفلى لجسم البادرة فينتقل الأوكسين من السطح العلوى إلى السفلى.

مثال ٢– تأثير الضوء (الانتحاء الضوئى) حيث يتولد فرق جهد كهربى بين الســطحين المضـــاء والمظلـــم وعلى ذلك ينتقل الأوكسين من السطح المضاء(سالب الشحنة) إلى السطح المظلم(موجب الشحنة).

مثال ٣– الانتقال من القمة الموروفولوجية إلى القاعدة الموروفولوجية (الإنتقال القطبى) يتولد فرق جهــد كهربى بين القمة الموروفولوجية (سالبة الشحنة الكهربية) والقاعــدة الموروفولوجيـــة (موجبـــة الشحنة الكهربية) فينتقل الأوكسين قطبيا من القطب السالب إلى (القمـــة) إلـــى القطـــب الموجـــب (القاعدة الموروفولوجية).



بعـــــض الظــــــواهــــــر الفسيـــولـــوجيـــة للأوكسينـــات

(١) كفاءة عملية البناء الضوئى: وجد أن الأوكسينات وخاصةIAA, NAA تؤدى إلى تنشيط كفاءة عمليـــة البناء الضوئى علاوة على تنشيط الأنزيمات وتخليق الصبغات المختصة بتفاعل الضوء.

(٢) السيادة القمية: لوحظ أن البرعم الطرف يؤثر على نمو البراعم الجانبية حيث لوحظ أنـــه عنـــد غيـــاب البرعم الطرف فإن البراعم الجانبية تنشط فى النمو وذلك لأن البرعم يُنتج ويحتوى على تركيـــزات مرتفعـــة من الأوكسين وعند انتقال هذه التركيزات المرتفعة فإنها تثبط نمو البراعم الجانبية مما يؤدى إلـــى حـــدوث سيادة قمية للبرعم الطرف.

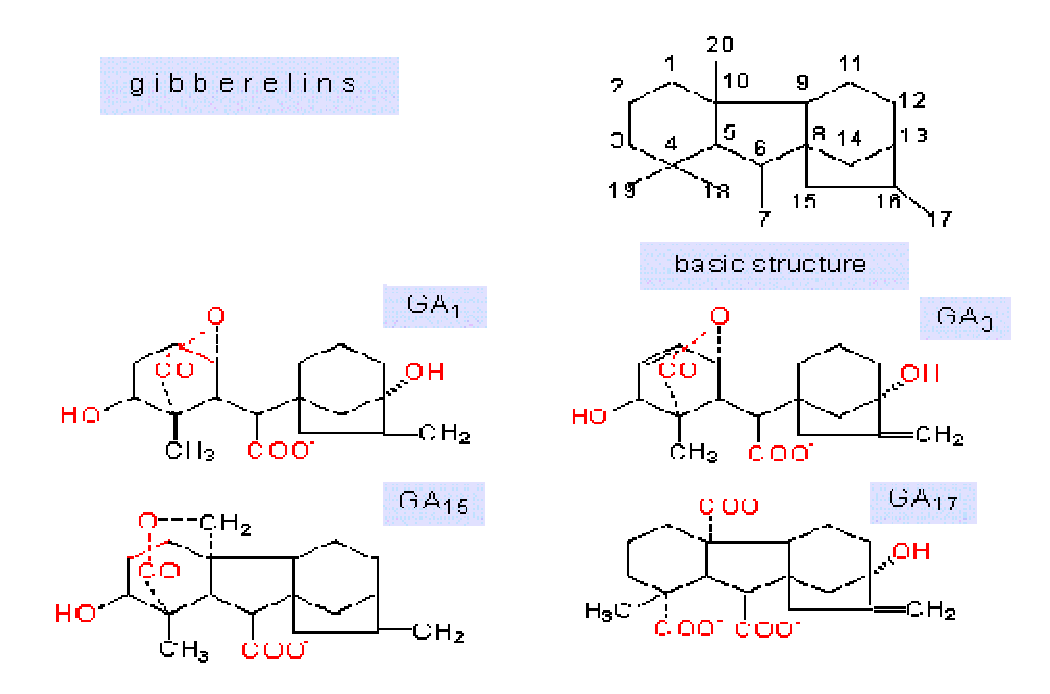
(٣) الثمار اللابذرية: يمكن الحصول على ثمار بدون بذور بإضافة عجينة اللانولين المضـــاف إليهـــا IAA إلى ميسم الزهرة، ولوحظ أن مبايض النباتات القادرة على إنتاج الثمار اللابذرية فإن المحتوى الأوكســـينى يكون أكثر منه فى مبايض الأنواع التى تحتاج إلى إخصاب لكن تنتج الثمار.

***الجـبريلينات Gibberellins**

تعتبر الجبريلينات من المواد المنشطة للنمو ويوجد أكثر من ٦٠ نوعاً من الجبريلينات وتختلف الأنواع فيما بينها من حيث عدد ذرات الكربون وكذلك وجود أو عدم وجود مجاميع (OH) وتعتبر المـــادة جبريلينـــا إذا احتوت على الهيكل الكربونى جيبان Gibbane أو كورين

Skeleton ring

(Gibbane or kaurene)



وتم اكتشاف الجبريلين بواسطة العلماء اليابانيون حيث وجدوا أن الفطــر **Gibberella fujikuroi** وهــو الطور اللاجنسى للفطر **Fusarium moniliforme** يســبب مــرض **Foolish seeding** لبــادرات الأرز ووجدوا أن سبب هذا المرض هو إفراز مادة الجبريلين.

كما توجد بعض المواد التى لها نفس تأثير الجبريلين ولكنها لا تعتبر جبريلينا لأنها لا تحتوى علــى حلقــة الجيبان (الكورين) ومن أمثلة هذه المــواد **Helmenthosporic acid** **Helmenthasporal** وهاتــان المادتان تفرزان من الفطر **Helmenthosporium sativum**

وكذلك المادتان **Sclerin & Sclerolide** وتفرزان بواسطة الفطر **Sclerotinia liberiana**

ويتم تخليق الجبريلين كالتالى:

Acetate ⟶ acety coa ⟶ Acetoacety coa

GA ⟵ Kaurene ⟵ Mevalonate

كما وجدت عدة مواد تعمل على تثبيط تخليق خطوة أو أكثر من خطوات تخليق الجبريلين مثل

Cycocel & Arcymidol & Phosphon-D & Amo 1618

مكان تخليق الجبريلين فى النباتات الراقية

يتم تخليق الجبريلين فى

- **الأوراق الصغيرة والحديثة للبرعم الطرف.**
- **فم الجذور والتى تعتبر مواقع لتخليق GA**
- **البذور أثناء تكوينها.**

إنتقال الجبريلين فى النبات

ينتقل الجبريلين فى اللحاء وبنفس ميكانيكية انتقال الماء وباقى المواد الناتجة من التحولات الغذائيــة كمــا ينتقل أيضاً فى أوعية الخشب، كما لوحظ أن الجبريلين لا ينتقل بطريقة قطبية كما يحدث فى الأوكسين

بعض التأثيرات الفسيولوجية للجبريلين

*** تنشيــط استطالــة ونــمو الــنباتات**

يؤدى GA إلى زيادة استطالة الساق من خلال تنشيطه لاستطالة منطقة الخلايا تحــت القميــة. وتنحصــر ميكانيكية تأثير GA فى إحداث الاستطالة للخلايا من خلال تأثيره على عدة عمليات هى:

Cell growth — **Cell extensibility**

Membrane permeability — **enzymatic activity**

Osmotic potential — **Mobilization of potassium and sugars**

*** تــحلل الــغذاء الــمدخر فــى طــبقة الألــيرون**

أظهرت الدراسات أن معاملة طبقة الأليرون المفصولة بالجبريلين يسبب تخليق وزيادة فى نشاط إنزيمات:

1- Ribonuclease — **2- X-amylase**
3- B-gluconase — **4- B-amylase**
5- Protease — **6- phosphatase**
7- Phosphoryl choline gleceride transferase
8- Phosphoryl choline cytidyl transferase

*** كــسر طــور الــسكون**

يؤدى GM إلى كسر طور السكون فى البذور وخاصة التى يرجع سبب ســكونها إلــى الاحتيــاج لــدرجات الحرارة المنخفضة وبالتالي يمكن للجبريلين تعويض عملية التنضيد. وكذلك التغلب على السكون الذى يرجع

إلى الحساسية الضوئية مثل بذور الرمان والخس وكذلك كسر سكون براعم البطاطس والتى يتركــز وجــود ABA بها.

*** الأزهــار والأثــمار**

لوحظ أن GA يعوض النباتات ذات النهار الطويل والشتوية والتى تحتاج احتياجات ضوئية معينة والتعرض لدرجة حرارة منخفضة كى تظهر.

*** الــثمار الــلابذرية**

فى بعض الحالات التى لا تستجيب للمعاملة بالأوكسينات للحصول على ثمار لا بذرية وخاصة الثمار التفاحية والحجرية فإن الجبريلين يعطى نتائج إيجابية جداً فى هذا الشأن.

* السيتوكينينات Cytokinins

كان أول اكتشاف لهذه المواد المنشطة لانقسام الخلايا فى مستخلص الخميرة حيــث تمكــن العــالم Miller (١٩٥٦) من عزل مركب بيورينى من DNA وتم التعرف على هذا المركــب وهــو 6-Furfuryl amino purine والذى أطلق عليه Kinetin وتوجد هذه المركبات بصورة طبيعية فى النباتات فى صورة المركب Zeatin وخاصة فى الذرة الصفراء.

❖ بعض التأثيرات الفسيولوجية للسيتوكينينات

الشيخوخة: لوحظ أن المعاملة بالكينيتين أو BA تؤخر حدوث الشـيخوخة فـى الأوراق المفصـولة مـن النباتات.

السيادة القمة: اقترح العلماء أن cytokinins لها تأثير مثبط على تخليق إنزيم IAA-oxidase وبالتـالى زيادة تركيز الأوكسين IAA فى البراعم الجانبية مما يمكنها من التغلب على السيادة القمية الناجمـة مـن البرعم الطرف.

❖ بعض المثبطات النباتية Inhibitors

من المعروف أن أهم مثبطات النمو الرئيسية والتى تم اكتشافها هـو هرمـون حمـض الأبسيسـيك ABA بالإضافة إلى العديد من المركبات الأخرى مثل البنزويك، والسيناميك ، والكيومايك ، الفلاثوتويدات.

ويتم تخليق ABA فى الكلوروبلاست كما يمكن تخليق ABA من الكاروتين والزانثوفيـل ويـزداد تركيـز ABA فى أنسجة النباتات عند تعرضها لظروف الإجهاد Stressمثل التغريق، التعطيش، نقص العناصـر، ..... وهكذا. وزيادة تركيز ABA فى هذه الحالة يؤدى إلى زيادة قدرة النبات على مقاومة ظروف الإجهاد.

بـعض الـظواهر الـفسيولوجية

*** سكون البراعم والبذور: حيث يرجع سكون بعض أنواع البذور وكذلك البراعم إلى زيادة المحتوى مـن المثبط ABA والتى يمكن التغلب عليها بواسطة التبريد أو إضافة GA_3.**

*** التساقط: لوحظ أن ABA ينشط عملية التساقط فى الأوراق حيث يعمل على الإسراع فى تحلل الصـفيحة الوسطى ومكونات الجدار الخلوى وأيضاً يعمل ABA على سرعة تخليـق إنزيمـات البكتيـز، السـليلوز، البروتيز. والتى تسرع من عملية التساقط .**

عـلاقة الـمسببات الـمرضية بـالهرمونات

توجد الهرمونات بكميات ضئيلة فى النباتات الطبيعية بينما تتضاعف كمية الهرمونات فى النباتات المصـابة بمسببات مرضية من ٢-٥ مرات ضعف النباتات العادية.

والزيادة ليست فقط فى كمية الهرمونات النباتية ولكنها أيضاً لوحظت فى الأنزيمات والتوكسنات.

* الأوكسينات Auxins

لوحظ أن هناك علاقة واضحة بين السبب المرضى والمحتوى الأوكسينى فى أنسجة النبات

ــ لاحظ العديد من العلماء أن بكتيريا التورم التاجى فى نبات البطاطس crown gall من النوع Agrobacterium tumerfacient يصاحبها زيادة واضحة فى المحتوى الأوكسينى فى أنسجة النبات المصاب وخاصة أوكسين IAA. ولوحظ أن التورم التاجى الناتج من الإصابة سببه المباشر هو إنتاج IAA بكميات وفيرة بدليل أنه عند إضافة IAA فإنه ينشط تكوين galls وزيادتها فى الحجم. وقد يرجع زيادة الأوكسين لنقص نشاط IAA-oxidase.

ــ لوحظ أيضاً زيادة واضحة فى محتوى IAA فى أنسجة نباتات الدخان المصابة ببكتيريا Pseudomonas solanacearum والمسببة لمرض ذبول الدخان "Granville" كما لوحظ زيادة فى محتوى IAA فى مناطق الساق والجذور حيث يتركز وجود المسبب المرض. وأرجع العلماء الزيادة فى محتوى IAA نتيجة زيادة المحتوى من الفينولات وخاصة مادة Scopletin والتى تثبط نشاط إنزيم IAA-oxidase .

ــ كما أن هناك العديد من الأمثلة توضح زيادة المحتوى من IAA بسبب حدوث إصابة بمسببات مرضية مثل:

1-wheat infected with P.graminis tritici.

2- Brassica infected with Perenospora parasitica & Albugo candida.

3- Wilt diseases caused by Fusarium, Verticillium, Cephalosporium.

4-Potato infected with Phytophthora infestavs.

5- Corn infected with Ustilago zea.

السيتوكينينات Cytokinins

ــ فى نبات turnip المصاب بالمسبب المرضى plasmo diophora brassica والذى يسبب مرض club-root-galls لوحظ زيادة المحتوى من cytokinins من ١٠-١٠٠مرة بالمقارنة بالنباتات السليمة.

كما لوحظ زيادة المحتوى للأنسجة من cytokinins فى النباتات المصابة بمسببات أو أمــراض الأصـــداء مثل:

Pine rust caused by cronartium fusiforme

Bean rust caused by Uromyces phaseoli, U. faba

الجبريلينات Gibberellins

وُجِد العديد من النظريات يصحب إصابتها للنباتات زيادة واضحة فى المحتوى من GA ومــن أشــهر تلــك الفطريات Fusarium moniliformae والمسبب لمرض البادرات المجنونة فى الأرز.

ــ لوحظ أن العديد من الإصابات الفيروسية والتى يصاحبها تقزم فى النبات تكون مصحوبة بنقص واضح فى المحتوى من GA وإذا ما أضيف لهذه النباتات أو عوملت بالجبريلين GA. فإنها تستعيد اســتطالتها فــى الغالب.

الاثيبلين Ethylene

هذا الهرمون له علاقة واضحة فى حالة الإصابة بأمراض الاصفرار وخاصة الناتجة عــن أمــراض الــذبول

Tomato infected with Fusarium oxysporium ،wilt disease

يرجع سبب الذبول لهرمون Ethylene الناتج من الفطر

- **كما لوحظ تواجد Ethylene أيضاً فى حالة إصابة القطن بالــذبول النــاتج مــن إصــابة الفطــر Verticillium-wilts of cotton.**
- **كما لوحظ أيضاً أن دور الاثيلين فى اصفرار الأوراق وتساقطها يكون أكثر وضوحاً من نباتات الورد المصابة بالمسبب المرضى Diplocarpon rosae**
- **فى النباتات المصابة بمسببات مرضية يصاحبها زيادة فى إنتاج Ethylene لــوحظ أيضــاً زيــادة واضحة فى Oxidase activity كما فى:**

1- Sweet potato infected with Ceratocystis fimbriata

2- Barley infected with Erysiphae graminis

3- Wheat infected with Puccinia graminis

- **لوحظ أيضاً أن الإصابات المرضية المصحوبة بزيادة فى إنتاج Ethylene يصاحبها كـــذلك زيـــادة نشاط بعض الإنزيمات مثل:**

Polyphenol oxidase in Sweet potato

Polysaccharide hydrolase in Phaseolus vulgaris

Abscisic acid (ABA

يعتبر هرمون (ABA) من الهرمونات المثبطة للنمو فى النباتات. ويعتبـــر مـــن مســـببات تســـاقط الأوراق والثمار والفروع كما يسبب سكون البذور والبراعم. ويعمل على غلق ثغور الأوراق وتثبـــيط الإنبـــات فـــى البذور.

ـــ لوحظ زيادة فى إنتاج هرمون ABA فى

Tobacco infected with Pseudomonas Solanacearum

وخاصة تحت ظروف الإجهاد (العطش)

عموماً زيادة المحتوى من ABA & Ethylene فى حالة ذبول النباتات.

النمو الزهرى

يتأثر النمو الزهرى بعدة عوامل منها عوامل بيئية وأخرى وراثية. وهذه العوامل هى التى تعمل على تحويل الخلايا المرستيمية الخضرية إلى مرستيمات زهرية ومن هذه العوامل:

١ ـ درجة الحرارة

تؤثر الحرارة على هرمونات التزهير بصور مختلفة أو على هدم المركبات اللازمة للبناء ودرجة إنتقال تلك المركبات من الأوراق إلى المرستيمات.

- **يرتبط تأثير درجة الحرارة أيضاً بالإضاءة والإظلام وفترة الإضاءة. فقد وجد أن أكبر عدد من البراعم الزهرية عند ١٨ ْم أثناء الظلام بينما أقل عدد من البراعم الزهرية عند ٢٩ ْم أثناء الظلام أيضاً لنبات فول الصويا. بينما العدد كان ثابتاً أثناء فترة الإضاءة ومع إختلاف درجة الحرارة.**
- **تبريد نصل الأوراق أو البراعم الطرفية موضعياً يؤدى إلى تثبيط التزهير وهذا يؤكد أن بناء الهرمونات التى تتم فى الأوراق تتأثر بإنخفاض درجة الحرارة مما يؤثر فسيولوجيا فى إحداث تغيير فسيولوجى للبراعم الخضرية وتحولها إلى براعم زهرية.**
- **بعض النباتات تحتاج درجة حرارة منخفضة نسبياً للتزهير وتلك النباتات تتأثر سلبياً وبدرجة سيئة بالجو الدافئ والعكس فى البعض الآخر من النباتات بينما بعض النباتات يمكنها الإزهار فى نطاق واسع من درجات الحرارة.**

٢ ـ الضوء

شدة الضوء: ينخفض أزهار وإثمار النباتات بإنخفاض شدة الإضاءة.

طول الموجة الضوئية: الضوء الأحمر والبرتقالى يرجع لها الدور الأساسى فى دفع النباتات للتزهير.

فترة الإضاءة: تختلف النباتات فى إستجابتها لطول فترة الإضاءة (التأقت الضوئى) وعلى ضوء ذلك تم تقسيم النباتات حسب احتياجاتها للفترات الضوئية إلى

١ ــ نباتات نهار طويل

٢ ــ نباتات نهار قصير.

٣ ــ نباتات محايدة

٤ ــ نباتات وسطية.

٣ـ التحولات الغذائية للنيتروجين والكربوهيدرات

- **عموماً يتأثر مرحلة التزهير بالهرمونات بدرجة أكبر من درجة استهلاك المــواد الغذائيــة للخلايــا المرستيمية الزهرية.**
- **زيادة الإمداد بالنيتروجين يشجع تكوين الأزهار المؤنثة أكثر من المذكرة بينما نقــص النيتــروجين يشجع تكوين الأعضاء المؤنثة.**
- **نقص الكربوهيدرات يؤدى إلى ضمور وعقم حبوب اللقاح.**

٤ـ بعض المواد الكيماوية

- **قد تزهر بعض النباتات تحت تأثير بعض المركبات الكيماوية مثل غاز الأسيتيلين والإيثيلين وكــذلك بعض الأوكسينات مثل 2.4-D & NAA .**

فــسيولوجيا الإزهــار والــتأقت الــضوئى

لقد درس العديد من العلماء العمليات الضوء حيوية التى تحدث وتتم فى خلايا النبات ومــن بينهــا التمثيــل الضوئى ـــ تمثيل الكلوروفيل ـــ الإنتحاء الضوئى ـــ الإنبساط الورقى ـــ تنبيط إستطالة ـــ الساق ـــ التزهير ـــ التأقت الضوئى.

والمقصود بالتأقت الضوئى هو إستجابة النبات لطول فترة الضوء والظلام المتعاقبة. وقد أظهرت كثير مــن التجارب أن النباتات المختلفة تحتاج إلى نهار له طول معين لتدخل فى طور الأزهار وبالتالى قسمت النباتات تبعاً لتأثير طول فترة الإضاءة الطبيعية فى نموها التكاثرى إلى:

١ ـــ نباتات "النهار القصير" ("Shorrt – day" plants) وهى تزهر فقط إذا تعرضت لفترات إضــاءة طولها ١٢ ساعة أو أقل، مثل الشبيط (Cooklebur: Xanthium) والشليك (strawberry).

٢ ـــ نباتات "النهار الطويل" (Long – day plants)، وهى تحتاج للأزهار إلى فترة إضاءة طولهــا ١٢ ساعة أو أكثر، مثل السبانخ (Spinach) والبنجر (beet) والفجل (radish).

٣ ــ النباتات غير المحدودة (indeterminate or photoneutral plants)، وفيها لا يعتمد الإزهار على طول النهار، مثل الطماطم (tomato) والقطن (cotton).

وبالرغم من أن هناك طولا أمثل للنهار (optimum day – length) للإزهار فى نباتات " النهار الطويل" ونباتات "النهار القصير"، فإن الإزهار يحدث على مدى كبير حول هذا الطول الأمثل، وعلى هذا فنباتات "النهار القصير" لها فترات إضاءة حرجة (critical photoperiod)، ولا يحدث الإزهار فى هذا النوع من النباتات إذا تعرضت لفترات إضاءة أطول من الفترة الحرجة. وبالمثل، فإن نباتات "النهار الطويل" لها فترة إضاءة حرجة، ولا يحدث الإزهار بها إلا إذا تعرضت لفترات إضاءة يومية تزيد عن الفترة الحرجة.

ونظراً لحدوث الإزهار فى مدى معين فى نباتات كل من المجموعتين، فمن المحتمل أن يكون هناك نوع من التداخل، أى قد يكون طول معين لفترة الإضاءة مناسباً للإزهار فى نباتات "النهار القصير" وكذلك فى نباتات "النهار الطويل" أما النباتات غير المحدودة فتشبه نباتات "النهار الطويل" فى أنها لا تزهر إلا فى مجال من طول النهار أطول من الفترة الحرجة، إلا أن فترات الإضاءة الحرجة فيها تكون بصفة عامة أقصر منها فى نباتات "النهار الطويل".

٤ ــ النباتات الوسطية

وبالإضافة إلى المجموعات الثلاثة السابقة، فهناك مجموعة رابعة تسمى النباتات "الوسطية" (intermediate plants) ، وهى التى تزهر فقط فى مجال معين من أطوال النهار، ولا تزهر فى فترات الإضاءة الأطول أو الأقصر من ذلك، أى أن لها فترتين من الإضاءة الحرجة، فلا تزهر فى أطول النهار الأطول من الفترة الحرجة القصوى ولا فى أطوال النهار الأقصر من الفترة الحرجة الصغرى. ومن النباتات التى تنتمى لهذه المجموعة: الفاصوليا البرية (Wild kidney bean: phaseolus polystachyus).

وجدير بالذكر، أن الأصناف المختلفة لنفس النوع النباتى، قد تختلف فى تأثيرها بالتواقت الضوئى، وعلى هذا فإن الأمثلة النباتية التى سبق ذكرها فى كل من المجموعات الأربعة، قد لا تعبر بدقة تامة عن سلوك كل صنف نباتى على حده بالنسبة للتواقت الضوئى.

أحداث التواقت الضوئى (Photoperiodic induction)

لكى يحدث الإزهار فى النباتات، لا يلزم أن تستمر المعاملة الضوئية المناسبة حتى تظهر البراعم الزهرية، فمثلاً: إذا نقلت نباتات "النهار القصير" النامية فى ظروف النهار الطويل، تتعرض وقتياً لفترات نهار قصير، ثم أعيدت إلى ظروف النهار الطويل، فإن الإزهار يبدأ عادة رغم تعرض النباتات لظروف النهار الطويل وتسمى هذه الظاهرة "بظاهرة إحداث التواقت الضوئى".

عدد دورات التعاقب الضوئى

ويختلف عدد دوارات التواقت الضوئى (Photoperiodic cycle) اللازمة لكى يحدث الإزهار من نوع نباتى إلى آخر، فبعض نباتات "النهار القصير" مثلاً، تحتاج إلى نهار قصير متبوع بليل طويل، لكى يحدث بها الإزهار إذا وجدت فى ظروف نهار طويل قبل المعاملة وبعدها، كذلك فإن إحداث التواقت الضوئى، يمكن إجراؤه على "نباتات النهار الطويل" وتسمى أية دورة من التواقت الضوئى، تؤدى إلى الإزهار فى النباتات، بدورة التأثير الضوئى (Photoperiodic cycle)، مثال ذلك، قد يحتاج نبات معين ينتمى إلى مجموعة النهار القصير، إلى فترة إضاءة طولها ٨ ساعات تتعاقب مع فترة إظلام طولها ١٦ ساعة، وهذا يكون دورة تأثير ضوئى ممكنة لهذه النباتات بينما لا تكون فترة إضاءة طولها ١٦ ساعة متعاقبة مع فترة إظلام طولها ٨ ساعات دورة من هذا النوع.

ورغم أن المعاملة الضوئية لفترة قصيرة لإحداث التواقت الضوئى تكفى لبدء الإزهار، فإن المعاملة لفترة أطول تسرع من نضج الإزهار.

وتتغير حساسية النبات فى هذا المجال حسب عمر النبات، فكثير من التجارب تشير إلى أن الأوراق الحديثة غير الناضجة، غير فعالة فى إحداث التواقت الضوئى، ولكن يلزم للغالبية العظمى من النباتات، أن يكون عليها عادة حد أدنى من الأوراق الخضرية، حتى تتحول هذه النباتات إلى النمو التكاثرى.

ويعتمد التواقت الضوئى على مدة (Duration) التعرض للإضاءة أكثر مما يعتمد على شدة (Intensity) الإضاءة، فمثلاً يكفى لكى تزهر نباتات النهار الطويل، أن تتعرض لنهار قصير، طبيعى الإضاءة، تتعرض

فيها النباتات لشدة إضاءة منخفضة. ومن الطبيعى أن شدة الإضاءة المرتفعة فى جزء من الفترة الضوئية لازمة، كى يفى البناء الضوئى بمتطلبات النمو.

ولا يحدث الإزهار نتيجة للتعرض للضوء، إلا إذا توافر وجود ك أ٢ فى نفس الوقت.

ومما تجدر الإشارة إلية، أن نباتات النهار الطويل ، بعكس نباتات النهار القصير، لا تحتاج إلى دورة متعاقبة من فترات الإضاءة والظلام، ولكنها يمكن أن تزهر إذا لم تتعرض لأيه فترات من الظلام، أما نباتات "النهار القصير"، فيلزمها فترة ظلام لكى تزهر، وطول فترة الإظلام له أهميته، مثل ما لطول فترة الإضاءة، وهذا يتضح بالتجارب التى يتغير فيها طول فترة الإظلام بينما تثبت فترة الإضاءة، فقد وجد أن نباتات "النهار القصير"، يلزمها لكى تزهر حد أدنى من فترة الإظلام، مهما أختلف طول فترة الإضاءة. على هذا فإن إزهار نباتات "النهار القصير" بتعرضها للنهار القصير، يكون نتيجة لأن فترات الإظلام طويلة، وليس نتيجة لأن فترات الإضاءة قصيرة، كذلك يتضح أهمية فترة الإظلام من التجارب التى تعرض فيها النباتات أثناء فترة الإظلام للضوء لفترة قصيرة. إذ لا تزهر هذه النباتات، وبالمثل ن فإن نباتات "النهار الطويل" لا تزهر فى ظروف النهار القصير ، وهذا يرجع أساساً إلى فترات الإظلام تكون أطول مما ينبغى، فمثل هذه الأنواع النباتية تزهر فى فترات الإضاءة القصيرة، لو إنها تعاقبت مع فترات من الإظلام، تكون قصيرة أيضاً.

وعلى هذا فإن العامل المتحكم فى التواقت الضوئى، هو أساساً طول أطول فترة إظلام متصلة longest continuous dark perood) فى دورة التواقت الضوئى، وليس الطول الكلى لفترة الإضاءة أو لفترة الإظلام فى أى دورة طولها ٢٤ ساعة. ولهذا فقد يطلق اصطلاح نباتات "الليل الطويل" (long – night) ليعبر بطريقة أدق عن النباتات المعروفة بإسم نباتات "النهار القصير" ، وكذلك قد يطلق اصطلاح نباتات "الليل القصير" (Short – night) ليعبر بطريقة أدق عن النباتات المعرفة بإسم نباتات "النهار الطويل". وطبقاً لهذا التقسيم، فإن نباتات "الليل الطويل" لا تزهر إلا إذا زادت فيها فترة الإظلام عن حد معين. ولكن قد يفضل أستعمال اصطلاحات نباتات "النهار الطويل" ونباتات "النهار القصير" لإنتشار هذه التسمية.

ونباتات النهار القصير يلزمها حد أدنى من طول فترة الإظلام لكى تزهر. والدليل على أن فترة الظلام يهمــه جداً هى أن إذا تعرضت هذه النباتات أثناء فترة الإظلام للضوء فإنها لا تزهر.

وتؤثر درجة الحرارة على تأثر النباتات بالتعاقب الضوئى، وعلى العموم قد تكون درجة الحرارة أثناء فتــرة الإظلام أكثر أهمية فى هذا المجال عن درجة الحرارة أثناء فترة الإضاءة.

وتشير كثير من النتائج، أنه فى حالة نباتات "النهار القصير" وكذلك نباتات "النهار الطويــل" فــإن الأوراق، وليست القمم النامية حيــث تكــون البــراعم الزهريـــة، هـــى التـــى تســتقبل مــؤثر التواقــت الضــوئى (Photoperiodic stimulus) ففى إحدى التجارب أزهر نبات السبانخ (Spinach) (أحد نباتات مجموعة " النهار الطويل") حينما تعرضت الأوراق لفترات إضاءة طويلة، ولكن إذا تعرضت القمــم الناميـــة لفتــرات إضاءة طويلة، بينما تعرضت الأوراق لفترات إضاءة قصيرة، فإن النبات يظل فى الحالـــة الخضــرية. ولمــا كانت تفاعلات التواقت الضوئى تحدث فى الأوراق، فإن تأثيرها يجب أن ينتقل بطريقة ما إلى المرســتيمات، حتى ينتقل النبات إلى النمو التكاثرى وتختلف المسافة التى ينتقل فيها التأثير بإختلاف النباتـــات وبعوامــل أخرى.

أهمية فترة الإظلام:

ثبت مما لا يدع مجالاً للشك أن التزهير فى كل من نباتات النهار الطويل والقصير تتأثر أستجابتها لطول فترة الإظلام عن تلك لفترة الإضاءة، ومعنى ذلك أن نباتات النهار القصير تزهر بعد تعرضها لفترة إظلام أكبر من فترة حرجة أما نباتات النهار الطويل تزهر بعد تعرضها لفترة إظلام أقل من فترة حرجة. من ذلك نصل إلـــى طول فترة الإظلام أكثر أهمية لتشجيع التزهير إلا أن فترة الإضاءة لها تأثير كمـــى علـــى التزهيــر. (عــدد المنشئات الزهرية)

أهمية فترة الإضاءة

كما أن طول فترة الظلام تحدد إنشائية المنشئات الزهرية الأولية إلا أن طول الفترة الضوئية يؤثر على عدد تلك المنشئات الأولية.

علاقة الفيتوكروم بالإزهار

صبغة الفيتوكروم توجد فى صورتين، صورة الفيتوكروم الممتص للضوء الأحمر (Pr) وصورة الفيتو كروم الممتص لضوء الأحمر البعيد (Pfr) هى الصورة النشطة والفعالة فسيولوجيا. والصورتان تتحـولان فيمـا بينهم كيموضوئياً. كما أن صورة (Pfr) تتحول ببطء إلى صورة (Pr) فى الظلام أو تتحول إلى مركب غيـر معروف غير نشط. والتحول الإظلامى لصورة (Pfr) إلى صورة (Pr) يظهـر أنهـا محصـورة فـى ذوات الفلقتين.

<u>ملحوظة</u>: Pfr مهمة جداً فى أزهار كل من نباتات النهار الطويل أو القصير ويجب معرفة أن كى تحدث أزهار فى نباتات طويلة النهار لابد من تركيز عالى من صبغة Pfr. ولكى يحدث الإزهار فى النباتات قصيرة النهار فلابد من تركيز منخفض من صبغة Pfr.

Pfr فوق مستوى معين ⟵ تشجيع للإزهار فى نباتات النهار الطويل بينما يحـدث تثبـيط لإزهـار نباتات النهار القصير فى وجود هذا التركيز المرتفع من Pfr.

Pfr ⟵ظلام تراكم Pr ونقص المحتوى من Pfr يشجع إزهار نباتات النهار القصير بينما تظل نباتات النهار الطويل فى حالة نمو خضرى.

أما بخصوص التعرض للضوء خلال اليوم فإن صورة (Pfr) للفيتوكروم تتراكم فوق مستوى حرج وتحـدث تشجيع للإزهار فى نباتات النهار الطويل ولكنها لا تشجع إزهار نباتات النهار القصير تحت هـذا المسـتوى الأعلى من المستوى الحرج.

ودور فترة الظلام إنها تقدم الوقت للتحول الظلامى من صورة (Pfr) إلى صـورة (Pr). تحـت المسـتوى الحرج لصورة (Pfr) فإن نباتات النهار الطويل تظل فى الحالة الخضرية أى لا تزهر. وبمعنـى آخـر فـإن وجود (Pfr) فى مستوى أقل من المستوى الحرج فإن ذلك سوف يشجع تزهير نباتات النهار القصير. ولابد أن نضع فى الإعتبار أن صورة (Pfr) لازمة لتزهير كل نباتات النهار القصير والطويل.

التحول الكيموضوئي لصبغة الفيتوكروم

660 nm

Pr

Pfr (الصورة النشطة فسيولوجيا)

770 nm
(التحول الظلامي)

رسم يوضح علاقة صبغة الفيتوكروم بالإزهار

عند تعرض نباتات النهار القصير إلى الضوء الأحمر أثناء فترة الإظلام فإن ذلك يسبب تثبيط التزهير. ولـــو أعقب الضوء الأحمر بالضوء الأحمر سوف يسبب تحول (pr) إلى الصورة (pfr) ما يثـــبط التزهيـــر فـــى نباتات النهار القصير.

هرمونات التزهير والجبريلينات:

أطلق اصطلاح الفلوروجين أى عامل التزهير على ذلك الهرمون التزهيرى الذى افترض وجودة فى النباتات المستحثة ضوئيا ومن المعروف أن الفيتوكروم هو المستقبل الضوئى والعامل الوسيط المنـــتج للفلـــوروجين فى الأوراق والذى ينتقل بالتالى إلى المرستيمات الخضرية وينشط تحويلها إلى مرستيمات زهرية.

لوحظ أنه عند إضافة الجبريلين GA إلى معظم نباتات النهار الطويل يسبب تزهير تلـــك النباتـــات والتـــى وضعت تحت ظروف غير مهيئة للأزهار. وعلى الرغم من ذلك فإنه لا يمكن أفتـــراض أن الجبـــريلين هـــو هرمون التزهير ولكن الجبريلين يحفز النمو والتكشف الذى يكمل احتياجات تكشف الأزهار وانمائها، حيـــث من المعروف أن الجبريلين يسبب استطالة الشمراخ الزهرى (الساق الحاملة للأزهـــار) والمعروفـــة باســـم الحنبوط تسبق فى استطالتها قبل ظهور أى منشئات زهرية أولية لذلك فقد استنتج أن الجبريلين يحفز النمو والتكشف الذى يكمل احتياجات تكشف الأزهار وانمائها. وأمكن بالبرهان معرفة أن فكرة الحنبطة والتزهيـــر عمليتان منفصلتان ولكن بعض الشيء متلازمتان.

كما أمكن إثبات أن الجبريلين (مؤخرات النمو) كمثبط لتمثيل الجبريلين لوحظ تثبيط لعملية الحنبطـــة ولكـــن التزهير لم يثبط.

كيف يتكون الفلوروجين؟

ضوء ←——— (مستقبل) أوراق النبات والتى تحتوى على الفيتوكروم ←——— إنتـــاج هرمـــون الفلوروجين ←——— ينتقل الفلوروجين إلى المرستيمات الخضرية وتحولها إلى مرستيمات زهرية

أعلن العالم كالاجان أن هناك أرتباط بين الجبريلينات وهرمونات التزهير فى الإســـتجابه للفتـــرة الضـــوئية للتزهير. وقد أقترح أن هناك خطوتان تدخلان فى عملية التزهير الأولى خطوة وسيطة بواســـطة الجبـــريلين

والثانية بواسطة واحد أو أكثر من عوامل التزهير تسمى الأنثيســنيات. والجبــريلين والأنثيســنيات تكــون الفلوروجين الحقيقى.

وطبقاً لهذا الإقتراح فإن نباتات النهار الطويل تحت ظروف دورات غير إستحثاثية تحتوى على كمية كافيــة من الأنثيسنيات ولكن لا تحتوى على كمية كافية من GA . ويحدث العكس فى نباتات النهار القيــر حيــث تحتوى على تركيز مرتفع من GA ومنخفض من الأنثيسنيات. وهذا مما يؤدى تشجيع تزهير نباتات النهــار الطويل عند إضافة الجبريلين GA إليها، فى الدورات غير الإستحثاثية.

علل؟ عدم إزهار نباتات النهار الطويل أو القصير عند وضعها فى ظروف دورات غير استحثاثية؟

ما علاقة GA بالإزهار فى نباتات النهار الطويل؟

يجب معرفة أن:

- **هرمون الفلوروجين يتكون من الجبريلينات ــ الأنثيسنيات.**
- **الجبريلين مسئول عن النمو التكشف والذى يكمل فيما يعد عملية الإزهار مثــل تشــجيع إســتطالة الشمراخ الزهرى قبل تكوين منشأت الأزهار.**
- **فكرة الحنبطة والتزهير عمليتان منفصلتان ولكنهما متلازمتان والدليل على ذلك**
  - **أن GA لا يشجع إزهار نباتات النهار القصير.**
  - **عند معاملة النباتات طويلة النهار بمضاد الجبريلين ←——— حدث تثبيط للحنبطة بينمــا التزهير لم يثبط.**

فسيولوجيا الإنبات والكمون

يطلق لفظ الإنبات Germination فى البذور على استعادة النشاط فى نمو الجنين حتى تتمزق أغلفة البذرة ويبرز منها النبات الصغير. كما يمكن تعريف عملية الإنبات بأنها: الخطوات المتتابعة التى تبدأ بامتصاص البذرة للماء والتى يتبعها تمزق غطاء البذرة وظهور الجذير أو المجموع الخضرى ويصاحب تلك المظاهر المورفولوجية انقسام الخلايا واستطالتا مع زيادة النشاط الحيوى من هضم للغذاء وتمثيله ولكى يحدث الإنبات لبذور النباتات يشترط توافر عدة عوامل منها:

٧ الماء

الماء ضرورى لكى يحدث الإنبات، وتبدى البذور التابعة لنباتات مختلفة فروقاً بين ما يلزمها من الماء الذى تمتصه أثناء هذه العملية. ويكون دخول الماء فى المراحل المبكرة نتيجة لعمليات التشرب بواسطة الغرويات مثل جزيئات البروتين والنشا ثم تتكون الفجوات العصارية، وتشارك القوى الأسموزية حينذاك فى امتصاص الماء.

٧ الأكسجين

لا يحدث الإنبات فى غياب الأكسجين. ففى البذور النابتة تسير عملية التنفس بمعدل سريع وخصوصاً فى المراحل الأولى من الإنبات. ويتوقف معدل استهلاك الأكسجين على نوع الغذاء المخزن والذى سيتم أكسدته. والجو المحيط يحتوى على ٢٠% O_2 ٠.٠٣% Co_2 زيادة تركيز Co_2 تؤثر سلباً على إنبات معظم البذور وعلى العكس لا تتأثر بذور Atreplex بالزيادة Co_2.

٧ درجة الحرارة

تؤثر درجة الحرارة على عملية الإنبات بطرق مختلفة، فدرجة الحرارة تؤثر على درجة دخول الماء إلى البذرة، كذلك فإن ارتفاع درجة الحرارة يقلل من مقاومة القصرة لخروج الجذير.

ولكل نوع من البذور درجة حرارة صغرى Minimum إذا انخفضت عنها لا يحدث الإنبات، كما أن لها درجة قصوى Maximum لا تنبت البذور إذا تعدتها. وذلك لموت البروتوبلازم فوق هذه الدرجة. كذلك فإن

لها درجة حرارة مثلى Optimum بين الدرجتين الصغرى والقصوى. وعند درجة الحرارة المثلـــى يبلـــغ الإنبات والنمو أقصاه، وجدير بالذكر فإن إنبات البذور قد ينشط بدرجات الحرارة العالية ولكن بمرور الوقــت قد تموت البذور النابتة من تأثير هذه الحرارة العالية. ولهذا فإن درجة الحرارة المثلى هــى أعلــى درجــة حرارة يحدث عندها إنبات دون أن يحدث ضرر للبادرات بمرور الوقت. وعموماً تختلف احتياجــات البــذور لدرجات حرارة معينة وذلك بإختلاف نوع النبات فمثلاً وجد أن بعــض البــذور تتحمــل درجــات الحــرارة المنخفضة أثناء الإنبات والبعض الآخر يشترط توافر درجات حرارة مرتفعة حتى يتم الإنبات بصورة جيدة.

لوحظ أيضاً فى العديد من البذور فإن التبادل فى التعرض لدرجات الحرارة المرتفعة والمنخفضة المفرد يعطى أقصى معدل للإنبات. فعلى سبيل المثال فإن التبادل فى التعرض من ١٥ ْم إلى ٢٥ ْم المرتبط مــع المعاملــة الضوئية لبذور حشيشة الفلفل يمكن أن تزيد معنوياُ من نسبة الإنبات.

٧ الضوء

هناك بذور حساسة للضوء أى لا تستطيع الإنبات إلا إذا تعرضت للضوء ولو لفترة قصيرة ومن أمثلتها بذور شجرة عيد الميلاد وبعض أصناف الخس.

- **كما أن هناك بذور حساسة للظلام أى يلزم لإنباتها ألا تتعرض للضوء أثناء الإنبات ومن أمثلتها بعــض أنواع جنس البصل.**
- **كما أن إنبات بعض البذور مثل الدخان لا يتأثر كثيراً بتوافر الضوء أو الظلام حيث وجــدوا أن إنبــات بذور الدخان يكون أسرع فى الضوء عنه فى الظلام إلا أن الظلام لا يوقف الإنبات تماماً ولكنه يبطئـــه. كما لوحظ أن تأثير الضوء على الإنبات يتأثر بالعوامل البيئية الأخرى.**
- **لوحظ أن الإنبات فى بعض البذور يكون مصاحباً للإستجابة للفترة الضوء تعاقبيــه أى تعاقــب فتــرات النهار والظلام.**
- **قد لوحظ من الدراسات أن الضوء الأحمر والأحمر البعيد يعملان من خلال صبغة الفيتوكووم فى تنظــيم عمليات الإنبات فى بذور بعض أنواع الخس. حيث لوحظ أن الضوء الأحمر يشجع الإنبات حيث يعمــل**

على تحويل صبغة الفيتوكووم إلى الصورة الفعالة بينما يحدث العكس عند التعرض للضوء الأحمر البعيد والذى يعمل على تحويل صبغة الفيتوكووم إلى الصورة غير الفعالة والمثبطة للإنبات.

٧ حيوية الجنين

تختلف مدة احتفاظ البذور بحيويتها من جنس لآخر ومن نوع لآخر وقد تتراوح هذه الفترة من عدة أيام إلى عدة سنوات وقد تصل إلى مئات السنين. ومن الجدير بالذكر أنه يمكن احتفاظ البذور بحيويتها لمدة أطول كلما كانت ظروف التخزين مواتية. ومن المعروف أن زيادة نسبة الرطوبة فى البذرة أو إرتفاع درجة الحرارة فى البذور المخزونة يقلل من عمر حيويتها. كما أن إصابة البذور بالأمراض والآفات الحشرية يؤدى إلى تلف الجنين جزئياً أو كلياً مما يؤدى إلى انخفاض حيوية الجنين وبالتالى قدرة البذرة على الإنبات.

٧ عدم وجود ظاهرة السكون فى البذرة

حيث توجد مجموعة من العوامل تؤدى إلى سكون البذرة وعدم قدرتها على الإنبات.

السكون

يقصد بالسكون توقف النمو للبراعم أو إنبات البذور حتى تحت الظروف المواتية للنمو أو الإنبات. يوجد العديد من العوامل التى تثبط إنبات البذور حيث لوحظ أن غياب كلاً من الماء ودرجات الحرارة المناسبة أو مخلوط الغازات المناسب أيضاً لوحظ أن صلابة غطاء البذرة وعدم إنفاذه للماء أو الغازات أو كليهما يؤدى إلى سكون البذور كما أن عدم نضج الجنين أو احتياجه إلى فترة ما بعد النضج أو الإحتياج إلى ضوء معين أو درجات حرارة معينة أو وجود مواد مثبطة للإنبات، كل ذلك يؤدى إلى سكون البذور وعدم حدوث الإنبات.

وسوف نتناول بعض أهم العوامل المسببة للسكون فى البذور:

٧ صلابة القصرة

يعتبر غطاء البذرة الصلب واحد من أهم العوامل الأكثر شيوعاً والمصاحبة لسكون البذرة حيث يتسبب فى الآتى:

- **قد تؤدى صلابة القصرة إلى منع امتصاص الماء أو مروره إلى داخل البذرة كما فى بعـض أنـواع البقوليات.**
- **قد تؤدى صلابة القصرة إلى منع وصعوبة تبادل الغازات خاصة الأكسجين كما فى الشبيط.**
- **قد تؤدى صلابة القصرة إلى منع تمدد الجنين كما فى حشيشه الخزير.**

ويمكن كسر سكون البذور ذات القصرة بعملية التخديش أو المعاملة الكيماوية ببعض الأحماض مثل حمـض الكبريتيك أو المذيبات العضوية مثل الأسيتون أو الكحول.

✓ عدم اكتمال نضج الجنين

يرجع عدم إنبات بعض البذور لعدم اكتمال نمو الجنين ويحدث الإنبات فقط عندما يكتمل نمو وتطور الجنين. وقد يحدث نمو وتطور الجنين فى هذه البذور خلال أو قبل عملية الإنبات. وهذا النوع مـن السـكون ربمـا يوجد فى بعض أفراد العائلة الأوركيدية والهالوكية وكسر السكون الناشئ عن عدم اكتمال نمو الجنين فقـط بترك الجنين ينمو ويتطور داخل البذرة تحت الظروف المفضلة للإنبات.

✓ فترة ما بعد النضج Afterripening

حيث يلزم مرور فترة يحدث فيها تغيرات فسيولوجية وبيوكيماوية لازمة للإنبات. وفترة ما بعد النضـج قـد تحدث فى بعض الأنواع خلال فترة التخزين الجاف وقد تحدث خلال درجات الحرارة المنخفضـة والرطوبـة. وتسمى هذه العملية بالتضنيد. حيث يحدث التنضيد عندما تسقط البذور فى الخريف وتغطى التربـة البـاردة والمخلفات العضوية والثلوج. كما أمكن إجراء عملية التنضيد صناعياً بطريقة جيدة حيث يتم وضع طبقـات من البذور بالتبادل مع طبقات من الرمل وتخزن تحت درجات حرارة منخفضة. وقد أوضحت الدراسـات أن نشاطاً فسيولوجياً وبيوكيماويا يحدث خلال فترة التنضيد (ما بعد النضج) حيث يحدث إنتقال للمركبـات مـن الخلايا المخزنة إلى الجنين ـــ يتراكم السكريات الناتجة من تحلل الكربوهيـدرات ويحـدث هضـم لمختلـف الدهون المخزنة ـــ اختفاء المثبطات ـــ بناء منشطات النمو مثل الجيرى ولينات والسكيتوكينينات.

v مثبطات الإنبات

وجود بعض المواد طبيعياً فى البذور قد يسبب سكون البذور وتسمى تلك المواد بمثبطات الإنبات وتوجد هذه المثبطات فى أماكن مختلفة فمثلاً:

- **ربما توجد هذه المثبطات فى التراكيب المغلفة للبذرة كما فى قنابع الشوفان.**
- **قد توجد هذه المثبطات فى لب أو عصير الثمار المحتوية على البذور كما فى الطماطم.**
- **قد توجد مثبطات الإنبات فى الأندوسيرم أو جنين بعض البذور.**
- **ومن أمثلة المثبطات الطبيعية التى تم التعرف عليها مركبات الكومارين ــ البارسكوربيك ــ الأمونيا ــ حمض الأثبسيك ABA ــ القلويدات.**

ويتم كسر هذا النوع من السكون بإستخدام منشطات الإنبات مثل نترات البوتاسيوم ــ الثيويوريا ــ الإثلــين ــ الجبريلين ــ الكينتين.

v عدم توافر ظروف بيئية خارجية

مثل التعرض لظروف إضاءة أو درجات حرارة غير مناسبة للإنبات. أيضاً الجفاف وعدم توفر الماء، كل ذلك يؤدى إلى دخول البذور فى دور السكون.

الــتغيرات البيوكيماوية الــتى تــحدث أثنــاء الإنبــات

عموماً يصاحب عملية الإنبات عدة تغيرات منها الفيزيائية مثل زيادة حجم البذرة وتشقق القصــرة وزيــادة وزن البذرة نتيجة لتشرب الماء. ومنها التغيرات الكيماوية التى من نتيجتها هضم وتحلل المــواد الغذائيــة المدخرة إلى مواد بسيطة يمتصها الجنين وينشط فى النمو. ومنها التغيرات الحيوية وما يصاحبها من انقسام الخلايا واستطالتها وما يتبع ذلك من ظهور الجذير والمجموع الخضرى.

والغذاء المدخر فى البذرة قد يكون أساساً مادة كربوهيدراتية أو بروتينية أو دهنيه أو خليط منها.

عندما تكون المادة الغذائية المدخرة فى البذرة هى الكربوهيدراتية (النشوية) فأنها تتحلل إنزيميــاً بواســطة إنزيمات الأميليز والمالتيز إلى سكريات أحادية مثل الجلوكوز والمواد البروتينية تتحلــل إنزيميــاً بواســطة

إنزيمات البروتييز إلى أحماض أمينيه بسيطة أما المواد الدهنية فيتم تحليلها إنزيمياً بواسطة إنزيم الليبيــز إلى جلسرول وأحماض دهنيه.

يتم أستخدام السكريات الناتجة فى عملية التنفس (الأكسدة) للحصول على الطاقة اللازمة للنمــو والعمليــات الحيوية الأخرى من خلال دورات الأنحلال الجليكولى ــ كربس ــ البنتوز.

كما يتم أكسدة الأحماض الدهنية الناتجة من تحلل الدهون خلال أحد مسارين إما مسار ألفا Oxidatio ــ أو المسار بيتا Oxidation .

والمسار الأول غير مرغوب لضآلة كمية الطاقة الناتجة من خلاله أما المسار الثانى فهو الأكثر إنتاجاً للطاقة حيث يتكون من خلاله المركب. acetylco-A والذى يدخل فى دورة كربس وينتج عنه كميــة عاليــة مــن الطاقة. والمسار التالى يوضح بإختصار الأكسدة فى الوضع بيننا والذى يتم فى البذور الزيتية مثــل بــذرة الخروع أثناء مرحلة الإنبات.

- **لوحظ أيضاً زيادة المحتوى من RNA فى فلقات البذور النباتية مع زيادة واضــحة فــى نشـــاط وعمــل الميتوكوندريا كما لوحظ أيضاً نشاط واضح فى عمل بعض الإنزيمات.**
- **لوحظ زيادة واضحة فى نشاط إنزيمات الفوسفاتيز التى تقوم بتحليل حمض الفيتيك (الذى يحتــوى علــى نسبة كبيرة من الفوسفات ــ المغنسيوم ــ البوتاسيوم) ويرتبط الفيتيك أيضاً بالأجســام البروتينيــة فــى الخلية. لذلك فإن حمض الفيتيك مهم جداً فى مرحلة إنبات البذرة.**
- **لوحظ إرتفاع معدل التنفس مع زيادة واضحة فى نشاط الإنزيمات المرتبطة بعملية التنفس فــى دوراتــه المختلفة والمرتبطة أيضاً بالمواد الغذائية الأساسية المستخدمة فى عملية التنفس.**

النمو Growth

يمكن أن يعرف النمو، بصورة عامة بأنه زيادة غير عكسية فى الوزن أو الحجم أو المساحة أو الطول، بالنسبة للنبات ككل، أو بالنسبة لنسيج أو عضو معين به.

وجدير بالذكر، أنه قد تحدث أحياناً بالنبات زيادة فى أبعادة وفى وزنه، ومع ذلك فالزيادة فى تلك الأحيان لا تعتبر نمواً، مثال ذلك عندما تنقع البذور فى الماء، فإنها تتفتح ويزداد حجمها، ولكنها إذا جففت ينقص حجمها، كذلك يتناقص الوزن الجاف الإجمالى للبادرة أثناء الإنبات، نظراً لما يحدث بها من تنفس أثناء بناء الأنسجة الجديدة من المواد الغذائية المدخرة بعد تحويلها إلى مواد بسيطة، ثم يأخذ الوزن الجاف للنبات بعد ذلك فى الزيادة، عندما يعتمد فى غذائه على الوسط الخارجى. على أنه قد تحدث أحياناً زيادة فى الوزن الجاف، ولا تكون مصحوبة بنمو، فالزيادة فى وزن الجذر فى نبات بنجر السكر فى مرحلة معينة أثناء نموه تكون نتيجة تكوم المواد المدخرة فى خلاياه.

وإلى جانب المظاهر الكمية (quantitative aspects) للنمو، فله أيضاً بعض مظاهر نوعية (qualitative aspects)، تعبر عن نوع النمو، مثال ذلك: أثناء نمو النبات فى مراحله المختلفة (development) وقد تعطى الخلايا المرستيمية سوقاً مورقة، وقد تعطى أزهاراً فى أوقات أخرى.

ــ ويبدأ النمو فى النبات فى بعض الأنسجة فقط، وهى التى تعرف بالمرستيمات، والأطوار المختلفة لعملية النمو هى: إنقسام الخلية (cell division)، وزيادة حجم الخلية (cell enlargement) وتكشف الخلية (cell differentiation) ، وفى بعض الأحيان قد يطلق اصطلاح "استطالة الخلية" (cell Elongation) ليدل على مرحلة زيادة حجم الخلية. ويحدث النمو فى مرحلة انقسام الخلية عن طريق الزيادة فى عدد الخلايا، فيتم بناء بروتينات البروتوبلازم من الأحماض الأمينية والأميدات أو المركبات المشابهة، كذلك يحدث تخليق للسليلوز والمواد البكتينية والمواد الأخرى المكونة للجدار من جزيئات الكربوهيدرات الذائبة البسيطة، ويستخدم الماء فى تميؤ (hydration) ما يتكون من البروتوبلازم وجدار الخلايا، وإلى درجة محدودة فى تكوين الفجوات، وتتميز المرحلة الثانية (زيادة حجم الخلية) بزيادة الأبعاد، ويتم هذا أساساً ببناء

لجدار الخلية، حيث يمتد مسطح الجدار وتحدث بعض الزيادة أحياناً فى سمك الجدار، كما تتم زيـــادة أبعـــاد الخلية على حساب زيادة حجم الفجوات العصارية، حيث يرق السيتوبلازم تدريجياً إلى أن يكون طبقة رقيقـــة تبطن جدار الخلية. كذلك يحدث فى هذه المرحلة زيادة فى كمية البروتوبلازم. ويستخدم الماء كذلك فى تميؤ البروتوبلازم وجدر الخلية التى تبنى أثناء زيادة الحجم.

وفى المرحلة الثالثة، يظهر تخصص الخلية، لتقوم بوظيفة معينة فى النبات، مثل الألياف والقصيبات..الـــخ. ويتم التكشف الحجمى عادة أثناء مرحلة زيادة حجم الخلية، وحينما تقترب هذه المرحلة (المرحلـــة الثانيـــة) على النهاية أو بعد أنتهائها تماماً، تكتسب الخلية معظم مميزاتها التركيبية الخاصة بها. وفى جميع الخلايـــا تقريباً يزداد سمك الجدار أثناء المرحلة الثالثة، كذلك تحدث بعض التغيرات فى البروتوبلازم.

قـــياس الـــنمو

١ ـ قياس الحجم

يمكن قياس الحجم فى حالة النباتات الراقية، عن طريق الإحلال (displacement) فى سائل مثـــل المـــاء. ومن عيوب هذه الطريقة أنه لا يراعى فيها الإختلافات بين الأنسجة فى حجوم المسافات البينيـــة، وعمومـــاً فنادراً ما تستخدم هذه الطريقة.

٢ ـ قياس الطول

يستخدم قياس الطول كتعبير عن النمو، ولكن هذه الطريقة لها عيوبها، إذ لا يراعى فيها مثلاً سمك العضـــو النباتى أو درجة التفرع.

٣ ـ قياس الوزن

يستخدم فى كثير من الأحيان قياس الوزن الجاف (dry weight) كتعبير عن النمو. ويفضل قياس الـــوزن الجاف عن الوزن الرطب (fresh weight) لعدة أسباب، منها أن الجزء الأكبر من الـــوزن الرطـــب يكـــون نتيجة لوجود الماء، وقد يكون فقد النبات أو أكتسابة لكميات كبيرة من الماء أحياناً نتيجة العوامل الخارجية أساساً مثال ذلك، فقد يقل الوزن الرطب للنبات أثناء يوم حار جاف، رغم أنه مستمر فى النمو لو أستخدمت وسائل أخرى للتعبير عنه.

وطريقة الوزن الجاف، بدورها لها عيوبها، فمنها أنه قد يحدث نمو ومع ذلك لا تلاحظ زيادة فى الوزن الجاف مثال ذلك، تناقص الوزن الجاف الإجمالى للبادرة فى الظلام أثناء تكون الأنسجة الجديدة على حساب المواد الغذائية المخزنة بعد تحولها إلى مواد بسيطة.

ومما تجدر الإشارة إليه، أن هناك عدة طرق لقياس النمو، منها:

٤ـ طريقة الميكروسكوب الأفقى.

٥ـ طريقة الأكسانومتر (auxanometer).

٦ـ طريقة البلانيميتر (planimeter) التى تستعمل لقياس مساحة الأوراق. كذلك قد تستخدم الطريقة الفوتوغرافية فى هذا المجال.

سرعة النمو (The rate of growth)

يبدأ النبات نموه بطيئاً، ثم يزداد معدل نموه بمرور الوقت حتى يصل إلى أقصاه، ثم يأخذ فى النقصان أو يتلاشى نهائياً وعند ذلك يقف النمو، والمنحنى الذى يعبر عن النمو خلال الفترة التى يتم فيها، والتى سماها "ساكس" (sachs) "فترة النمو الكبرى" (thegrand period of growth)، يكون على هيئة حرف "S" (s- shaped) وينطبق هذا النبات ككل، كما ينطبق على أعضائه. كذلك فهو يلاحظ مهما أختلفت طريقة قياس النمو (مثل الحجم أو الطول أو الوزن). وينطبق على الخلية أثناء نموها نفس الطريقة فى تتابع سرعات النمو، إذ من المعروف أن الخلية تمر أثناء نموها بثلاث مراحل، ويصل معدل النمو إلى حده الأقصى فى المرحلة الثانية (زيادة حجم الخلية).

وهذه الطريقة من النمو، التى يبدأ فيها بطيئاً ثم يزداد ثم يتناقص، لا تتغير بتغير الظروف الخارجية المحيطة بالنبات، إذ أن هذه الظروف الخارجية تؤثر فقط على سرعات النمو وبالتالى على طول الفترة (duration) التى ينتهى فيها النمو بطريقته التى تكون دائماً على هيئة حرف (S).

وجدير بالذكر، أن نمو النبات لا يستمر بدرجة واحدة، بل يكون عرضة للتكرر (recurring) بصفة منتظمة، إلى حد ما إذ تحدث به اختلافات منتظمة فى المعدل يومياً وموسمياً. وبعض هذه التغيرات المنتظمة

ترجع إلى الإختلافات الدورية أو الموسمية فى الظروف البيئية، وبعضها يعتمد أساساً على عوامل داخليـــة. ففى كثير من أنواع النباتات الخشبية، يحدث النمو غالباً فى وقت محدد من السنة مهمـــا كانـــت الظـــروف المناخية.

الـــعوامل الـــتى تتـــحكم فـــى الـــنمو (The factors controlling plant growth)

تتحكم فى النمو عوامل عديدة، يمكن تقسيما إلى:

١ ـ عـوامل غـذائية (nutritional factors)

وهذه العوامل تساهم بطريق مباشر فى تخليق المواد العضوية المختلفة التى يبنى منها النبات أنسجته، وهذه المركبات العضوية المعقدة تتكون نتيجة سلسلة من التفاعلات الكيميائية، من مواد غير عضوية بسيطة، مثل CO_2 الذى يمتصه النبات من الهواء الجوى، ومثل الماء والعناصر المغذية، التى يمتصها النبات من التربة حيث لوحظ أن العناصر المغذية التى يمتصها النبات من التربة مع الماء تلعب دوراً مهماً فى حيـــاه النبـــات وترجع أهمية تلك العناصر إلى:

١ ــ تدخل فى تركيب مكونات الخلايا والإنزيمات ومركبات الطاقة بالخلية.

٢ ــ تلعب دوراً مهماً فى عمليات التحولات الغذائية والحفاظ على أسموزية الخلايا.

ويعتبر العنصر المغذى ضرورياً وأساسياً فى تغذية النبات إذا لم يستطيع النبات أن يكمل دورة حياتـــه فـــى غياب هذا العنصر وأيضاً إذا لم يمكن لأى عنصر آخر أن يحل محل هذا العنصر أو أن النبات يكون فى حاجة شديدة لهذا العنصر وأن يشاركه فى هذا الإحتياج العديد من النباتات الأخرى وكذلك لابد لهـــذا العنصـــر أن يكون تأثيره مباشر على النبات وأن يكون له دور هام فى عمليات البناء والهدم فى النبات.

ــ وتنقسم العناصر من حيث درجة إحتياجها للنبات إلى عناصر أساسية كبرى وهذه يحتاجها النبات بكميات كبيرة وعناصر أساسية صغرى ويحتاجها النبات ولكن بكميات قليلة.

ونقص أى عنصر غذائى فى الوسط الغذائى للنبات قد يؤدى إلى ظهور أعراض مرضية مميزة لهذا العنصر.

٢. عـوامل هـرمونية (hormonal factors)

وهذه العوامل تتحكم فى سرعة نمو الأعضاء المختلفة للنبات، فيحدث توزيع منظم لما يتكون فى النبات من مواد عضوية بين الأعضاء. ويوجد العديد من الهرمونات النباتية والتى يتم تخليقها فى الأنسجة النباتية. وتنقسم هذه الهرمونات إلى منشطات أمثلة مركبات الأندول مثل IBA & IAA ــ مركبات الجبريلينات ــ مركبات السيتوكنيين وهذه المنشطات تؤدى إلى تنشيط النمو الخضرى والنمو الزهرى وكافة العمليات الحيوية مثل البناء الضوئى والنشاط الإنزيمى .. الخ. بينما المثبطات أمثلة ABA (حمض الاثبيسيك) والتى لها دور مثبط على عمليات النمو ونقص المحتوى من صبغات البناء الضوئى كما أنها تسبب سكون البراعم.

٣- عوامل وراثية (hereditary factors)

تتحكم العوامل الوراثية فى شكل وحجم النباتات ويحدد التركيب الوراثى للنبات طبيعة ومدى التأثير الذى تحدثه به العوامل الغذائية والهرمونية.

ومما يجب ملاحظته، التداخل الموجود بين هذه المجموعات الثلاثة، فشدة الضوء مثلاً يمكن أن تؤثر على النمو عن الطريق الغذائى، كما يمكن أن تؤثر عليه عن الطريق الهرمونى.

٤- درجة الحرارة

ومن العوامل التى يتأثر النمو بها إلى درجة كبيرة درجة الحرارة، كما يتأثر بها معدل كل عملية فسيولوجية تتم فى النبات. وهناك مدى حرارى معين للنمو، يتميز بثلاث درجات حرارية، هى الدرجة الصغرى (minimum) والدرجة القصوى (maximum) والدرجة المثلى (optimum). ودرجات الحرارة الثلاثة تختلف من نوع نباتى إلى أخر، كما تختلف بإختلاف مرحلة النمو التى يمر بها النبات وكذلك تبعاً لحالته الفسيولوجية كما أنها تتأثر بعدة عوامل أخرى والمعروف أن نمو النباتات يتوقف فى درجات الحرارة الخارجة عن المدى الحرارى الذى تحده الدرجتان الصغرى والكبرى إلا أن هناك نطاقاً معيناً لهذه الدرجات الحرارية يمكن للنبات أن يتحمله دون أن يموت. ويمر النبات خلال الفترة التى يتعرض فيها إلى درجة حرارة تزيد عن الحد الأعلى للنمو بما يعرف بحالة "تيبس الحرارة" (heat rigor) بحيث لا ينمو النبات ولا تبدو عليه أيه حركة من حركات النمو. وبالمثل فهناك مدى معين بين درجة الحرارة الصغرى للنمو ودرجة

البرودة التى يموت عندها النبات، ويمر النبات عند تعرضة إلى مثل هذا المدى بحالة مماثلة تعــرف بحالــة "تيبص البرودة" (rigor cold) وتختلف درجات الحرارة الكبرى والصغرى التى يتحملها النبات، هى الأخرى من نوع لآخر.

النباتات القطبية قد تنمو على درجات منخفضة تصل إلى درجة التجمد أو أقل بينما لا تتعدى الدرجة المثلــى لها عن ١٠°م.

النباتات المعتدلة لا تنمو تقريبا تحت درجة ٥°م أما المثلى ٢٥ ــ ٣٠م والقصوى ٣٥ ــ٤٠°م.

النباتات الاستوائية وشبه الاستوائية لا تنمو عند أقل من ١٠°م والمثلى ٣٠ ــ ٣٥°م والقصوى ٤٥°م.

الأضرار الناشئة عن البرودة وطرق مقاومة النبات للبرودة

- **يقل المحتوى المائى بدرجة كبيرة فى الأنسجة النباتية وذلك لنقص معدل الامتصاص مع اســتمرار فقد النبات للماء عن طريق النتح نتيجة للبرودة ولوحظ أن تعرض نباتات الفاصوليا والقطن والأرز لدرجة ٠.٥ – ٥°م لمدة ٣٦ ساعة قد تؤدى إلى موت النبات**
- **التجمد يؤدى إلى موت النبات كلية حيث يتجمد الماء داخل الخلايا مكونا بللورات ثلجية أما ما قبــل درجة التجمد يحدث أن يخرج الماء إلى المسافات البينية بين الخلايا ويتجمد فى صــورة بللــورات ثلجية تؤدى إلى تمزيق الجدر الخلوية ويسبق ذلك جفاف البروتــوبلازم لفقــده للمـــاء وخروجـــه للمسافات البينية.**
- **يمكن للنبات أن يقاوم الصقيع والتجمد من خلال إجراء عملية التقسية وذلك بتعريض النبـــات قبــل زراعته بالحقل بتعريض النباتات لدرجات حرارة منخفضة أعلا قليلا من درجة التجمد ولقد وجد أن تعريض النبات إلى درجة الصفر المئوى لمدة ٢ ــ ٤ ساعات فى اليوم ترفع مقدرة النبـــات علـــى مقاومة الصقيع وتؤدى عملية التقسية إلى حدوث تغيرات فى صفات البروتوبلازم حيث تزداد درجة لزوجة البروتوبلازم وتضعف درجة تجمع البروتوبلازم نتيجة لجفاف طبقات معينة من الســيتوبلازم وأيضا تزداد نسبة الغرويات المحبة لوسط الانتشار فى الخلية والتى من شأنها عدم السماح للمـــاء**

للخروج من الخلية أو تحوله إلى بللورات ثلجية كذلك لوحظ بعد عملية التقسية نقص المحتوى المائى للخلايا إرتفاع نسبة السكريات فى الخلايا إرتفاع الضغط الاسموزى فى الخلايا مما يحمى الخلايا من البرودة الشديدة التى يتعرض لها النبات.

الأضرار الناشئة عن الحرارة المرتفعة وطرق مقاومة النبات لها

- **تسبب درجة الحرارة المرتفعة إلى زيادة معدل النتح مع نقص ملحوظ فى الماء الممتص مما يؤدى إلى نقص المحتوى المائى فى الأنسجة ويؤدى إلى موت بعض أجزاء النبات وفى الحالات الشديدة يموت النبات.**
- **إرتفاع درجة الحرارة بشدة يزيد من معدل الهدم (التنفس) بما لا يتناسب مع الزيادة الناتجة فى معدل البناء فينقص النمو ويتقزم النبات وباستمرار الحالة يموت النبات.**
- **درجة الحرارة المميتة لأى نسيج من ٥٠-٦٠°م وهذه لا يتعرض لها النبات إطلاقا بسبب إستمرار عملية النتح التى تلطف من درجة حرارة النبات باستمرار.**
- **درجة حرارة التربة قد تصل فى بعض المناطق إلى ٧٠°م مما يؤدى إلى قتل سيقان النباتات الصغيرة الملاصقة للتربة وبذلك يموت النبات كلية نتيجة لموت البروتوبلازم وتجلطة مما يفقده كافة أنشطة الحيوية.**
- **الأنسجة التى تحتوى على نسبة أقل من الماء تقاوم درجات الحرارة المرتفعة بدرجة أكبر من الأنسجة ذات المحتوى العالى من الماء ولذلك فإن البذور أكثر مقاومة لدرجات الحرارة المرتفعة جدا دون أن تفقد حيويتها.**
- **بعض الأنسجة تقاوم درجة الحرارة المرتفعة بسبب إحاطتها بطبقات حماية مثل الفلين وهى رديئة التوصيل للحرارة كما فى قلف الأشجار.**

٥. الضوء

يؤثر الضوء على النمو من خلال تأثيره على عملية البناء الضوئى. ويلاحظ أن النباتات التى تنمو فى أماكن مظلمة أو شبه مظلمة تبدو صفراء باهتة لعدم تكون الكلورفيل بها وتصبح السيقان رفيعة وطويلة وهشه بدرجة ملحوظة وتحمل أوراقاً ضعيفة ورخوة. وكذلك من خلال تأثيره على صيغة الفيتوكروم وتأثيره على تحليق الهرمونات النباتية.

شدة الإضاءة irradiance

- **نمو النبات وخاصة فى مراحله الأولى يتناسب عكسياً مع شدة الإضاءة.**
- **نمو النبات فى مراحله المتوسطة وخاصة بعد مرور ٧ أسابيع على الأقل يحتاج لإضاءة متوسطة حيث أعطت أقصى إرتفاع للنبات (٥٦٠ قدم/شمعة).**
- **أحسن نمو للأوراق وتكوين الأزهار والثمار يحتاج لإضاءة شديدة وهذه الدرجة تبلغ نصف شدة الإضاءة الطبيعية عند الظهيرة فى يوم صيفى صافى.**
- **نباتات الظل تختلف عن النباتات الطبيعية السابقة حيث يتأخر مراحل نموها المختلفة عند تعرضها لشدة إضاءة عالية.**
- **الإضاءة الشديدة تؤدى إلى زيادة معدل النتح وبالتالى نقص المحتوى المائى فى الأنسجة وبذلك يتأخر ويتوقف أنقسام الخلايا وإستطالتها.**
- **الإضاءة المنخفضة ينتج عنها تأخر نضج النباتات وذلك بسبب النقص الديدة فى عملية البناء الضوئى.**
- **فى الظلام تتكون البادرات البيضاء أو البيضاء المصفرة لكل من ذوات الفلقة أو الفلقتين وتسمى etiolated.**
- **إذن للضوء تأثير منشط على عملية تخصص وتكشف الخلايا والنمو.**

نوع الضوء (طول الموجة الضوئية) Light quality

- **الضوء الأحمر يؤدى إلى نقص إستطالة الساق وخاصة السلاميات الأولى بينما الضوء الأزرق والبنفسجى يؤدى إلى استطالة الساق أما فى الضوء المرئى فإن الإستطالة تصل إلى حدها الأدنى.**
- **أفتراس الأوراق يكون أقل ما يمكن فى وجود الضوء الأخضر ويزاد الافتراش تدريجياً فى الضوء البرتقالى ثم الأحمر ثم الأزرق. بينما يكون أفتراس الأوراق أكبر ما يمكن فى وجود الضوئى المرئى.**

فترة الإضاءة

- **عند تعريض نباتات النهار القصير لنهار طويل فإنها تنمو خضرياً بطريقة غير محدودة ولكن تحت ظروف النهار القصير فإن النمو الخضرى يكون محدوداً جداً وذلك بسبب تخصص خلايا القمة النامية لإعطاء النمو الزهرى.**
- **عند تعريض نباتات النهار الطويل لظروف نهار قصير فإنها تعطى نباتات قصيرة خضريا.**
- **نباتات البطاطس والطرطوفة تتكون الدرنات عند تعرضها لفترة ضوئية ٩ ــ ١٠ ساعات بينما لا تتكون درنات عند تعرض هذه النباتات لفترة إضاءة ١٨ ساعة ضوء.**

٦- الماء

نقص الماء فى الخلايا يقلل من سرعة نموها، كما يؤدى نقص الماء فى الوسط المحيط بالنبات إلى ذبول النبات ونقص نموه وأيضاً نقص واضح فى عمليات التحول الغذائى ونقص امتصاص وانتقال الذائبات فى النبات. بينما توفر الماء يعمل على زيادة ضغط الإمتلاء ويساعد على تمدد جدر الخلايا وبالتالى زيادتها فى الحجم، كما يساعد على سهولة إتمام العمليات الحيوية والتحولات الغذائية وزيادة نشاط الإنزيمات والعمليات الأيضية المختلفة، كما يؤدى توفر الماء فى الوسط المحيط بالنمو على سرعة إمتصاص وإنتقال الذائبات.

٧- تركيز محلول التربة

- **فى الأحوال الطبيعية لا يتجاوز الضغط الأسموزى لمحلول التربة عن (١) واحد ضغط جوى.**

- **فى بعض الحالات عند أستخدام ماء تزداد به نسبة الأملاح فى رى النباتـات قـد يصـل الضـغط الأسموزى لمحلول التربة إلى (١٠) عشرة ضغط جوى مما يؤدى إلى نقص واضح فى إمتصـاص الماء وبالتالى تأخر نمو النبات.**
- **بالإضافة إلى إرتفاع أسموزية محلول التربة وتأثيره المثبط على نمو النبات فإن نمو النبات يتـأخر أيضاً بدرجة أكبر بسبب سمية بعض العناصر المذابة فى محلول التربة مثل Mg , Cl , Na والتـى تحد كثيراً من نمو النبات.**

٨. تركيز الغازات فى جو التربة

- **فى الأراضى ذات التربة الجافة والناعمة وعند زيادة نسبة الرطوبة يلاحظ نقص فى التهوية ويزداد تركيز Co_2 بينما ينخفض تركيز O_2 .**
- **وجد أن التهوية تؤدى إلى الحصول على نمو أحسن وزيادة فى المجموع الجذرى والخضرى بينمـا يتأخر النمو بنقص التهوية.**
- **يرجع النقص فى نمو النبات تحت ظروف سوء التهوية إلى النقص الواضح فى إمتصـاص المـاء وإمتصاص العناصر المغذية.**
- **نقص O_2 فى التربة هو العامل الأكثر تأثيراً بينما زيادة تركيز CO_2 ليسمى له تأثير يذكر.**

سـكون الـبراعم

يلاحظ فى نمو الأشجار المعتدلة أن براعمها تدخل فى حالة سكون وذلك فى نهاية الصيف وتخرج من هـذه الحالة خلال فصل الربيع التالى لتنشط وتعطى نموات ورقية وزهرية جديدة. وهذا النوع من السـكون يـتم كسره عادة بالمعاملة بالبرودة مشابها فى ذلك الذى يظهر فى إحتياجات البرودة لإنبات البذور.

إلا أن درجة الحرارة المنخفضة ليست هى العامل الوحيد فى كسر هذا النوع من السـكون حيـث لـوحظ أن براعم بعض الأشجار الخشبية أكثر إستجابة لفترة الإضاءة عن تأثير البرودة، حيث أن تقصير فترة النهـار المصاحبة لقدوم الخريف والشتاء هى العامل الهام فى سكون براعم تلك الأنواع من الأشجار الخشبية. مـن

ذلك يتضح أن هذا النوع من السكون يتسبب عن قصر طول النهار أما النهار الطويل فإنه يكسر حالة السكون هذه.

لوحظ فى العديد من الأنواع النباتية زيادة محتوى خلايا براعمها من حمض ABA أثناء فترة السكون وعند إنتهاء فترة السكون يهبط مستوى هذا الحمض (ABA) بينما يرتفع تركيز الجبريلينات (GA) من ذلك يمكن كسر طور السكون فى البراعم وذلك بمعاملتها بإحدى المواد الفعالة فى كسر طور السكون ومن أمثلتها:

١ ـ مادة كلور إيثانول حيث لوحظ أن له نشاط واضح فى كسر سكون البراعم فى درنات البطاطس وكذلك مواد ثيوسيانات البوتاسيوم ، ثيويوريا ، كلورو إيثلين ، رابع كلوريد الكربونات، إيثايل يرومايد.

٢ ـ الجبريلين (GA) حيث أن له تأثير كبير جداً فى كسر سكون البذور والبراعم.

٣ ـ المعاملة بالمواد التى تشجع تمثيل DNA & RNA فى البراعم وبالتالى بناء البروتين مما يؤدى إلى التغلب على الجينات المثبطة والمسببة للسكون. أى أن الجينات المثبطة تم وقف ومنع تثبيطها وذلك بإضافة المواد المحفزة مثل الجبريلينات (GA) التى توقف عمل هذه الجينات المثبطة من خلال تحفيز تخليق RNA والبروتين والإنزيمات. بينما المعاملة بحمض الأبسيسك (ABA) والذى يثبط تخليق DNA من RNA والبروتين ويضاد فعل الهرمونات المنشطة الأخرى فإن هذا الحامض (ABA) يؤدى إلى دخول البراعم فى حالة السكون إذا ما عوملت به البراعم.

٤ ـ وجد أن براعم أشجار الخوخ تبدأ فى النمو عند تعرضها لدرجات حرارة منخفضة (٥ ْم) لبضعة أيام.

٥ ـ البراعم الساكنة لبعض النباتات تخرج من سكونها بتعرضها لأبخرة الإيثير أو الكلوروفورم لمدة ٢ ـ ٤ أيام.

<u>ملحوظة</u>: قد يكون إطالة فترة السكون وليس كسر طور السكون هو الظاهرة المرغوبة مثلما هو مطلوب فى حالة البطاطس والبصل أثناء فترة التخزين ويمكن إجراء ذلك بمعاملة درنات البطاطس مثلاً ببعض مواد النمو المثبطة للنمو مثل Ester – methyl – NAA . أو أى مثبط أخر مثل ABA (حمض الابثيسيك).

فسيولوجيا النبات ــ د/ محب طه صقر أستاذ فسيولوجيا النبات ــ كلية الزراعة ــ جامعة المنصورة

فسيولوجيا الإجهاد Stress Physiology
Stress Physiology

مــقدمة:

النباتات التى تتعرض لظروف غير عادية مثل الإضاءة الشديدة، البــرودة الشــديدة Chilling، الحــرارة الشديدة ــ التعطيش ــ التغريق ــ الإشعاع ــ التلوث سواء بالغازات السامة أو زيادة تركيز غــاز معــين مثل الأوزون، الإصابة بالمسببات المرضية. كل تلــك العوامــل وغيرهــا مــن عوامــل الإجهــاد البيئيــة Environmental stress factors . كل تلك العوامل تنشط وتنشط بعضها الــبعض فــى زيــادة إنتــاج active oxygen species.

ومن المعروف أن نوعيات معينة من الإنزيمات تتدخل لحماية الأنسجة ضد عمليات الأكسدة الناتجة عن فعل active oxygen species والناتجة أصلا تحت ظروف stress.

أيضاً أجريت دراسات على تأثير درجة الحرارة المنخفضة على العمليات الفسيولوجية وأوضحت نقص شديد فى عملية البناء الضوئى كما أجريت دراسات على تأثير غاز الأوزون O_3 فوجد أنه يؤثر بشدة على نقــص عملية البناء الضوئى ــ نقص واضح فى طول الجذور والسيقان للنباتات وأيضاً نقص واضــح فــى كميــة محصول النبات والسبب فى السمية الشديدة Phytototxicity المتسببة عن O_3 يرجع إلى قدرتة الفائقــة والشديدة على التأكسد لإنتاج جزئيات سامة (generate toxic molecular specie) مثل super oxide anion, hydroxyl radicals, hydrogen peroxide.

أجمع العلماء على أن التأثير الضار أو المميت لظروف Stress يرجع للتــأثير المباشــر أو الغيــر مباشــر لعوامل الإجهاد Stress على تكوين activated oxygen radicals والتأثير على سلسلة نقل الإلكترون.

فى تجربة لإثبات إنتاج وتراكم activated oxygen radicals تحت ظروف water stress لوحظ أيضــاً زيادة فى هدم الأغشية وزيادة فى Lipid peroxides .

Free radicals and role of antioxidants

النباتات التى تتعرض للعديد من الظروف الجوية القاسية مثل الإنخفاض أو الإرتفاع الشديد لدرجة الحرارة أو النقص الشديد فى محتوى التربة من العناصر المغذية أو ظروف التعطيش (نقص الماء) أو التغريق. كذلك الظروف البيولوجية الغير عادية أو الإصابة بالمسببات المرضية أو التلوث بالأوزون أو الإضاءة الشديدة أو الإشعاع الشديد. كل تلك الظروف تؤثر سلبا على نمو النباتات وجودة وكمية المحصول.

قام العديد من العلماء بدراسة إستجابة النباتات لظروف الإجهاد السابق ذكرها stress وما يتبع ذلك من تحرر الجذيرات الحرة Free radicals والتى تسبب دمار وهدم للخلايا والأنسجة النباتية وأيضاً المواد المضادة للأكسدة والتى تقوم بحماية هذه الخلايا والأنسجة النباتية تحت ظروف stress.

من المعروف أن Reactive oxygen species (Ros) أو المسمى Free radicals يتم التغلب عليها بما يسمى المواد المضادة للأكسدة والتى تقوم بمعادلة Free radicals فى الخلايا والأنسجة النباتية. ولكن هذا المواد المضادة للأكسدة يقل محتواها تدريجياً وذلك بزيادة ظروف الإجهاد stress أو الشيخوخة (التقدم فى العمر) وهذه الظروف يحدث عندها زيادة ملحوظة فى نشاط الإنزيمات المؤكسدة oxidative enzymes والتى تقوم بإنتاج Reactive oxygen species (Ros) وكل هذا يسبب ويؤدى إلى زيادة تدهور الخلايا أو الأنسجة النباتية ودخول النباتات فى طور الشيخوخة Senescent plants.

من المعروف أن Oxygen free radicals من أهم العوامل المؤدية لدخول النبات فى طور الشيخوخة وذلك عن طريق تنشيط عمليات الأكسدة الضارة للجزيئات البيولوجية والتى تؤدى إلى هدم الخلايا وموت النبات.

أهم العوامل التى تظهر أو تنتج فى الخلايا والأنسجة النباتية تحت ظروف الإجهاد:

1- Lipoxygenase activity.

2- Activated oxygen species.

3- Stressed promoting compounds such as;

A- Ethylene.

B- Jasmonic acid.

Lipoxygenase activity هو إنزيم يهدم ويحلل Poly unsaturated fatty acids بواسطة الأكسجين ليعطى hydro peroxide products وكذلك يلعب هذا الإنزيم دور هـام فـى هـدم الأغشـية الليبيدية breakdown of membrane lipids induced by stress

أنــواع الــشوارد الــحرة Types of free radicals

: Activated oxygen species includes * *

من المعروف أن أنواع الأكسجين النشطة هى المادة المؤكسدة الرئيسية والهادمة للخلايا والأنسجة النباتيـة تحت ظروف stress وهذا الأنواع الأكسجينية هى:

1- Super oxide radicals O^-_2
2- Hydroxy radicals OH.
3 -Singlet oxygen radicals O_2
4- Peroxyl radicals H_2O_2
5- Alkoxyl radicals Ro
6- Peroxyl radicals Roo.
7- Poly unsaturated fatty acids.
8- Semi quinine free radicals
9- Atomic oxygen radicals (O^-)
10- Photolytic ozonation radicals (O_3)
11- Sulfar monoxide radicals (So^-)

هذه المواد activated oxygen species وخاصة (OH) , (O_2) مواد مؤكسدة قوية جداً وتقوم سـريعاً بمهاجمة الجزئيات البيولوجية Biomolecules مثل جزئيات DNA مما يؤدى إلى خلل شديد فى عمليـات metabolism واختلال وظيفى لا يمكن إصلاحه أو تعويضه مما يؤدى إلى موت خلايا الأنسجة النباتية.

الــمواد الــمضادة للأكســدة Antioxidants

المواد المضادة للأكسدة منها ما هو إنزيمي ومنها ما هو غير إنزيمى. ومن أمثلة الإنزيمات المضادة للأكسدة Antioxidative enzymes.

1-Superoxid dismutase
2-Catalase
3-Peroxidaese
4-Ascorbat-glutathion cycle enzymes
5-Ascorbate peroxidaes
6-Mono-dehydro ascorbate reductase
7-Dehydro ascorbate reductase
8-Glutathion reductase

أمثلة للمواد غير الإنزيمية المضادة للأكسدة Non enzymatic antioxidative :

وهذه المواد تتواجد بوفرة فى الكلوروبلاست والميتوكوندريا والبيروكسيزوم.

1- Ascorbate (Vit.C)
2- Glutathion
3- &-Tocopherol (Vit.E)
4- Caroteine
5- Flavonoids.

تحت الظروف الطبيعية Normal conditions يقوم نظام الحماية من خلال المواد المضادة للأكسدة Antioxidative defense system يقوم بحماية النظام الخلوى ضد (من) الأكسجين النشط.

ولكن عند زيادة الأكسجين النشط بدرجة عالية جداً ويكون نشاطه أكبر من طاقه النظام الدفاعى للمواد المضادة للأكسدة antioxidant system كما هو الحال فى ظروف stress أو الشيخوخة فإن إجهاد الأكسدة يظهر بوضوح Oxidative stress produced

الدور الفسيولوجى لجذيرات الأكسجين النشطة فى الأنسجة النباتية
Physiological Roles of activated oxygen radicals in plant tissues

- جذيرات الأكسجين الحرة الناتجة فى الخلايا النباتية يمكنها أن تلعب دوراً مهماً فى العمليات الفسيولوجية مثل:

1- Cellular damage.

2- Promotors of senescence.

3- Metabolic oxidation.

- فى الكلوروبلاست يتم إنتاج superoxide radicals (O_2) من خلال التفاعل PSI هذا الأكسجين النشط يتم السيطرة علية من خلال تحويله إلى H_2O_2 وإذا لم يتم كنس O_2 فى صورة (scaveng) H_2O_2 والناتج من PSI فى الكلوروبلاست فإن تثبيت CO_2 إلى كربوهيدرات (Co_2 fixation) سوف يتوقف خلال ثوانى مما يؤدى لحدوث ذبول واضح.

- الإنتاج المستمر من H_2O_2 الناتج من O_2 من خلال PSI يقوم بتثبيط بعض إنزيمات Calvin cycle وكذلك أكسده وهدم نواتج عمليه البناء الضوئى.

- **الإصابة الميكروبية أو الفيروسية ينتج عنها زيادة فى إنتـــاج oxygen free radical وكـــذلك (NO) Nitrogen oxide. ويحدث بين جذيرات الأكسجين وأكسيد النتروجين تفاعل ينتج عنه Peroxynitrite وهذا المركب يسبب أكسدة خلايا الأنسجة النباتية وكذلك إحداث طفرات من خلال أكسدة ونترته الجزيئـــات الحيوية. (Oxidation and nitration of various biomolecules)**

أمثلة لبعض المواد الكانسة أو المثبطة للجذيرات الحرة
Scavengers and inhibitors of free radicals

1- **Azide (inhibit myloperoxidase).**
2- **1.4 diazo – bicycle – (2-2-2) octan (DABCO).**
3- **Diphenylisobenzofuran (as O_2 trap).**
4- **Deuterium oxide.**
5- **Superoxide anion dismutase (SOD) convert (O_2 to H_2O_2).**
6- **Sulfite (scavenge O_2 produced by xanthin oxidase).**
7- **Benzoate (Trap for OH).**
8- **Mannitol (scavenge OH).**
9- **Ascorbic acid (it is oxidized by both H_2O_2 to dehydromonoascorbate).**
10- **Triton (iron chelator) (inhibit peroxiadase).**
11- **Catalase.**
12- **Sallicyl hydroxamic acid (SHAM) (inhibit lipoxygenase).**
13- **Cyanide (metablic inhibitor).**
14- **Detergents (chloro mercuri benzoate) (inhibit $NADPH_2$ oxidase).**

تعتبر المواد السابق ذكرها مواد كانسة أو مثبطة لجذيرات الأكسجين النشطة
Activated oxygen radical scavengers or inhibitors

ومن المعروف أن الخلية النباتية تحتوى على المواد المنظفة أو الكانسة Scavengers والخاصة بها مثـــل الإنزيمات ــ الكربوهيدرات ــ الأحماض النووية ــ الأحماض الأمينية.

Plant Response to Stress

يحدث الإجهاد بفعل تعرض النبات لظروف خارجية معاكسة وغير طبيعية ويكون لها تأثير واضح على النمو والإنتاج للنباتات.

Biotic stress: وهو الإجهاد الناتج عن الكائنات الحيه مثل الإصابات الفطرية ــ البكتيرية ــ الفيروسية

abiotic stress: وهو الإجهاد الناتج عن فعل مؤثرات فيزيائية أو كيميائية (عوامل بيئية).

العوامل البيئية (abiotic) Environmental

1- water – logging **2- Drought**

3- High r low temperatuse **4- Soil Salinity**

5- Inadequate mineral in the soil **6- Too much or too little light**

7- Phytotoxic compounds (Ozone)

وتتوقف درجة مقاومة أو حساسية النباتات لظروف الإجهاد على نوع النبات ــ التركيب الوراثى ــ مرحلة النمو.

كما أن هناك العديد من العوامل التى تحدد درجة استجابة النبات لظروف الإجهاد البيئية مثل.

١ ــ نوع الإجهاد الذى يتعرض له النبات.

٢ ــ عدد المرات التى يتعرض فيها النبات للإجهاد.

٣ ــ فترة التعرض لظروف الإجهاد.

٤ ــ درجة الإجهاد (شدة الإجهاد).

٥ ــ مرحلة العمرية للنبات.

٦ ــ التركيب الوراثى.

٧ ــ وجود بعض العوامل المنشطة المشجعة لمضاعفة آثار وشدة الإجهاد Stress resistance mechanisms ميكانيكية مقاومة الإجهاد.

عملية مقاومة الإجهاد يكون من خلال أحد طريقين:

١ ــ تجنب التعرض لظروف الإجهاد Avoidance mechanism

٢ ــ دفع النبات للتحمل للإجهاد مثل إجراء عمليات الأقلمة ــ تحسين النمو وذلك قبل التعرض لظروف الإجهاد To lerance mechanism.

لوحظ أن بعض النباتات تتحمل لظروف الإجهاد وذلك من خلال الأقلمة مثل نبات التين الشوكى والصبار المعروف بمقاومتة للجفاف حيث السيقان المتورقة والأوراق العصيرية والجذور المتعمقة فى التربة. كما يحدث بها تغيرات فسيولوجية من شأنها تزيد إسموزية العصير الخلوى لأنسجة النبات.

كما وجد فى بعض النباتات التى تتميز بتحملها لظروف الإجهاد أنه يتم بها عملية تنظيم للهرمونات الداخلية فى الأنسجة النباتية مثل ABA (abscisic acid) & Jasmonic acid & Ethylene وكل ذلك يخضع للعمل والتحكم الجينى Gene expression.

تحمل الجفاف والملوحة To lerance to drought and Salinity

تعديل ضبط الإسموزية ودوره فى تحمل إجهاد الجفاف والملوحة

- **من المعروف أن ضبط الإسموزية لخلايا الأنسجة النباتية هى الميكانيكية التى تساعد النبات على الأقلمة تحت ظروف الجفاف والملوحة.**
- **من المعروف أيضاً أن النبات لا يستطيع إمتصاص الماء من التربة وذلك لأن إسموزية خلايا الجذور أقل من إسموزية محلول التربة المحيطة بالنبات فى ظروف الملوحة.**
- **بعض النباتات حساسة بدرجة كبيرة لظروف الإجهاد وبالتالى فإن جذورها تذبل وتموت بينما بعض النباتات مقاومة لظروف الإجهاد بدون أن يحدث لخلاياها أى بلزمة.**
- **النباتات المقاومة لإجهاد الجفاف تتمكن من تعديل إسموزية خلاياها من خلال زيادة تركيز العصير الخلوى ببعض المكونات التى ترفع من الضغط الإسموزى لمقاومة ظروف الإجهاد.**

- **من المركبات التى يمكنها زيادة إسموزية الخلايا ــ البــرولين (Proline) ، بــرولين بيتــين (praline betaine) ، مانيتول (Manitol) ، بنيتول (Pinitol).**
- **بعض النباتات تحت ظروف الإجهاد (Salt stress) من خلال بثبيط تخليق السكروز بينما ينشط تخليق سكر المانيتول (Manitol) وسكر المانيتول هوالصــورة المختزلــة للســكر المــانوز (Mannose) وهذه الظاهرة تحدث فى نباتات (Celery) الكرفس. ولذلك يمكن لبذور نباتــات الكرفس الإنبات بكفاءة تحت ظروف الملوحة المرتفعة.**
- **بعض النباتات تحت ظروف الإجهاد يتراكم بها سكر البنتول (Pinitol) وهــو مــن الســكريات الحلقية الكحولية ويتراكم فى بعض نباتات العائلة الصنوبرية والعائلة البقولية مثل Sesbania sp عندما يتم ريها بمحلول ملحى ويتم تراكم هذا السكر البنتول فى الكلوروبلاست والسيســتول بينما لا يتراكم إطلاقاً فى الفجوات العصارية.**
- **لوحظ تراكم أحد أنواع البروتينات مثل الأسموتين (Osmotin) وهو بروتين قلوى يتراكم فــى أوراق نبات الدخان المعرضة لظروف الإجهاد الملحى. كما لوحظ تراكم هذا البــروتين بدرجــة عالية عند تعرض النبات للمسببات المرضية وهذا البروتين يثبط نمو هيفات الفطر والجــراثيم أيضاً.**
- **يتم تنشيط تخليق الجين المسئول عن تخليــق الاســموتين (Transcription of sn Osmotin gene تحت الظروف التالية:**

١ ــ وجود ABA	**٢ ــ وجود Ethylene**
٢ ــ وجود Auxin	**٤ ــ الإصابة بالفيروس TMV**
٥ ــ نقص الماء	**٦ ــ الأشعة الفوق بنفسجية UV**
٧ – الجروح	**٨ ــ الإصابة الفطرية.**

Oxidative stress

يحدث هذا النوع من الإجهاد تحت ظروف إنتاج (AOS) جذيرات الأكسـوجين النشـطة active oxygen species والتى لها المقدرة على إتلاف عمليات التحولات الغذائية والأغشية البلازمية وأيضاً إتلاف DNA وموت الخلايا.

العوامل البيئية المسببة لظروف الإجهاد بالأكسدة
Environmental factors that Oxidative stress

1- **air pollution (Ozone & Sulfur oxide).**
2- **Oxidant Forming herbicides (paraquat dichloride).**
3- **Heavy metals.**
4- **Drought.**
5- **Heat and cold stress.**
6- **Wounding.**
7- **Uv light.**
8- **Intense light that stimulate photoinhibition.**
9- **Pathogen infection**.

- **لوحظ أن Ros مثـل Hydrogene peroxide & super oxide anion مهمـين جـداً ويـتم الإحتياج إليهم لتكوين اللجنين (lignification) وهذا المركب مهم جداً لأنه وسيلة حماية ودفـاع ضد الإصابات المرضية Pathogen infection.**
- **الأوزون Ozone من أهم المركبات المسببة لعمليات الأكسدة فى خلايا الأنسـجة النباتيـة. ويـتم تخليق الأوزون عند توافر كل من الهيدروكربونات (Hydrocarbones) ، أكاسيد النيتروجين (No & No2) & أكسيد الكبريت (So) والتى تتفاعل مع أشعة UV فيتم تخليق الأوزون (O_3).**
- **يؤثر الأوزون على النباتات سلبياً فهو يعمل على**

1- **decreased photosynthetic rate**
2- **Leaf injury.**
3- **Reduced growth of shoots & roots.**

4- **Accelerated Senescence.**
5- **Reduced Crop yield.**

وتتفاوت النباتات أيضاً فى درجة حساسيتها أو تحملها للتعرض للأوزون.

- **يسبب الأوزون عمليات أكسدة ضارة للمحتويات البيوكيماوية فيتم هدم Lipids proteins والأغشية البلازمية ، كذلك يسبب إنتاج Free radicals ، Hydroxyl radicals ، Supesoxide ion ، hydrogen peroxide وذلك بتفاعل الأوزون مع الإيثيلين.**
- **الأوزون يشجع الجروح على تكوين الإيثيلين وتراكم Salicylic acid كما أن الأوزون يعمل على هدم الأغشية البلازمية كما سبق ذكره فيحدث للأغشية:**

1- **alter ion transport.**
2- **Increase membrane permeability.**
3- **Inhibits H^+ Pump activity.**
4- **Collapses membrane potential.**
5- **Increases Ca^{+2} uptake from apoplasm.**

تحمل إجهاد الأكسدة
Tolerance to Oxidative stress

زيادة تخليق مركبات ومواد مضادات الأكسدة وكذلك إنزيمات مضادات الأكسدة يشجع وتؤدى إلى زيادة تحمل إجهاد الأكسدة Oxidative stress.

والجدول التالى يعطى الأمثلة لظروف الإجهاد بالأكسدة بمسببات مختلفة والمواد المضادة للأكسدة أو إنزيمات مضادات الأكسدة التى تؤدى إلى تحمل الإجهاد بالأكسدة وذلك فى كل حالة من مسببات الإجهاد بالأكسدة:

Stress Conditions, antioxidants or enzymes

ظروف الإجهاد (مسبب الإجهاد) Stress Condition	المادة أو الإنزيم المضاد للأكسدة Antioxidant or antioxidant enzyme
Chilling – high Co_2	Anionic peroxidase
Drought – Co_2 – Ozone – high light intensity	Ascorbate peroxidase
Chilling	Catalase
Chilling – drought , heat – Co_2 - Ozone , So_2	Glutathion
Chilling – drought - Co_2 – Ozone - paryuate	Glutathion reductase

Deficiency of K , Ca , Mg , Mn , S , B-drought – heat - ozone	Polyaminase
Chilling - Co_2 - highlight – Ozone – paraquat – So_2	Super oxide dismutase SOD

التعرض للأوزون أيضاً يسبب زيادة المحتوى من H2O2 والذى ينشط أيضاً إنتاج السالسيليك (SA) وكذلك بعض المركبات الثانوية الناتجة من التحولات الغذائية مثـــل Phytoalexins & Lignins & Callose & extensins.

Heat stress

النباتات التى تتعرض لدرجات حرارة مرتفعة يحدث بها تغيرات شديدة فى التحولات الغذائية وتخليق أنـــواع جديدة من البروتين والذى يعرف بإسم Heat shock proteins (HSP) ويحدث هذا غالباً إذا ما تعــرض النباتات لدرجات حرارة أعلى من الحد الأمثل بحوالى ٥ ْم. كما يحدث أيضاً هدم للخلايا ــ وفساد للأغشـــية البلازمية.

Salinity Stress physiology

ثالثاً: تأثير الإجهاد الملحى على النمو Effect of salinity stress on growth:

أوضح العديد من العلماء أن للإجهاد الملحى تأثير مثبط على النمو الخضرى للنباتات وهذا التثبيط قد يرجـــع إلى الأسباب التالية:

١ ــ نقص إمتصاص النبات للماء يسبب زيادة تركيز الأملاح فى وسط الإمتصاص.

٢ ــ نقص فى جميع أنشطة التحولات الغذائية فى الخلايا النباتية.

٣ ــ نقص واضح فى النشاط المرستيمى للخلايا وكذلك نقص واضح فى إستطالة الخلايا.

٤ ــ زيادة واضحة فى معدل تنفس الخلايا مما يستهلك جزء وافر من الطاقة.

٥ ــ هدم الخلايا النباتية النامية وبالتالى لا تؤدى الخلايا وظيفتها المعتادة.

٦ ــ نقص إمداد الخلايا والأنسجة بإحتياجاتها الأساسية من نواتج التحولات الغذائية.

٧ ــ زيادة الأملاح فى التربة تؤدى إلى نقص واضح فى انقسام الخلايا وإستطالتها.

٨ ــ حدوث خلل واضح وعدم توازن فى المحتوى الهرمونى الداخلى فى الأنسجة النباتية.

٩ ــ النقص الواضح فى تحولات البروتين ونقص تخليق الأحماض النووية فى الأنسجة النباتية.

١٠ ــ الإجهاد الملحى يؤدى إلى نقص النمو من خلال التأثير المثبط على أنشطة التحولات الغذائية، عدم التوازن الأسموزى ، النقص الواضح فى امتصاص العناصر المغذية ، نقص تخليق البروتين ، نقص واضح فى عملية البناء الضوئى.

١١ ــ حدوث سمية Toxicity بسبب تراكم بعض الأيونات فى خلايا أنسجة النبات مثل أيونات Cl- & Na.

١٢ ــ حدوث نقص واضح وحاد فى المحتوى وكذلك إمتصاص عناصر K (البوتاسيوم) ، P (الفوسفور).

١٣ ــ نقص واضح فى إمتصاص عناصر المغذيات الصغرى.

١٤ ــ حدوث شيخوخة مبكرة للأوراق النباتية وإصفرارها وظهور بقع ميته على الأوراق. وذلك نتيجة لتراكم العناصر السامة فى خلايا أنسجة الورقة.

١٥ ــ نقص واضح فى المساحة الورقية وبالتالى حدوث نقص فى كفاءة عملية البناء الضوئى وكذلك نقص واضح فى المحتوى الهرمونى.

١٦ ــ حدوث نقص واضح فى تركيز المحتوى من الهرمونات النباتية المنشطة مع حدوث زيادة فى المحتوى من المثبطات النباتية مثل ABA مما يؤدى إلى حدوث نقص واضح فى عمليات النمو فى النبات.

١٧ ــ حدوث زيادة واضحة فى إنتاج الجذيرات الحرة Free – radicals مثل Ros (ذرات الأكسوجين النشطة) أو $O^{-}H$ مجاميع الهيدروكسيل النشطة أو NO_2 (أكسيد النيتروجين) ، SO (أكسيد الكبريت) $CO^{-}O$ (مجاميع الكربوكسيل النشطة) وهذه الجذيرات الحرة لها تأثير مدمر على الأغشية الخلوية وعملية البناء الضوئى والمحتوى من DNA (الحمض النووى).

١٨ ــ الجذيرات الحرة الناتجة عن تأثير الإجهاد الملحى تتداخل أيضاً بدرجة كبيرة فى عمل البروتينات ــ السكريات ــ الليبيدات ــ الأحماض النووية. مما يؤدى إلى أضطراب فى عمل الخلايا وتحولاتها الغذائية مما ينعكس على النمو.

- **لوحظ زيادة المحتوى من ROS (الجذيرات الحرة) نتيجة تواجد النبات فى وسط ترتفع به نسبة الأملاح المذابة (إجهاد ملحى) وهذه الجذيرات الحرة لها تأثير مدمر على المحتوى من الأحماض النووية DNA والبروتينات والسكريات.**
- **كما لوحظ زيادة المحتوى من Lipid hydro peroxide & H_2O_2 وهذه المركبات تسبب أكسدة وتدمير الأغشية البلازمية.**
- **لوحظ أيضاً نشاط واضح فى المحتوى من بعض مواد مضادات الأكسدة وخاصة مضادات الأكسدة الإنزيمية فى خلايا أنسجة الجذور.**
- **لوحظ زيادة فى المحتوى من أنزيمات مضادات الأكسدة أيضاً مثل البيروكسيدر (APX) الجلوتاثيون ردكتيز (GR) ، سوبر أكسيد دسميوتيز (SOD) ، كتاليز.**
- **لوحظ زيادة فى المحتوى من مضادات الأكسدة الغير أنزيمية مثل**

1- Lipid – soluble membrane (a- Tocopherol & B- Carotene).

مضادات أكسدة تذوب فى الليبيدات.

2- Water – soluble (glutathione & ascorbate)

مضادات أكسدة تذوب فى الماء.

ــ تأثير الإجهاد على صبغات البناء الضوئى

- **إحتواء بلاستيدات الميزوفيل فى الطماطم على حبيبات نشا كبيرة تتمركز فى وسط البلاستيدة.**
- **إحتواء البلاستيدات على قطرات الليبيدات.**
- **لوحظ أن حبيبات النشا الكبيرة الموجودة بالبلاستيدات تكون محاطة بغشاء رقيق.**

- **فى حالة عدم وجود حبيبات النشا فإن الجرانا تكون عديدة وصغيرة.**
- **لوحظ إنتفاخ البلاستيدات وتآكل الجرانا.**
- **لوحظ وجود العديد من الريبوسومات فى البلاستيدات.**
- **لوحظ إنكماش وتقلص حجم البلاستيدات الخضراء.**
- **لوحظ أن البلاستيدات فى بعض الحالات تصبح بدون جرانا تقريباً granalless.**
- **نقص كفاءة تفاعل Hill.**
- **نقص كفاءة الفسفرة الضوئية وخاصة عند المعاملة بملح Na_2So_4.**
- **أكسدة الكاروتين والذى بدورة يحمى الكلورفيل من الأكسدة فعند أكسدته يهدم الكلوروفيل بسرعة.**
- **كما لوحظ نقص كفاءة عملية البناء الضوئى ولكن بطريقة مختلفة تتوقف على نوع النبات فمثلاً:**

(١) فى البصل: نقص كفاءة البناء الضوئى كان من خلال غلق الثغور لعدم حدوث توازن مائى.

(٢) البقوليات: ترجع إلى نقص كمية CO_2 المتحصل عليها نتيجة لنقص إنفتاح الثغور.

(٣) القطن: يرجع النقص فى كفاءة البناء الضوئى نتيجة للتأثير على

أ – تفاعل Hill ، ب ــ عملية تثبيت CO_2 من خلال دورة تفاعل الظلام.

- **لوحظ نقص واضح فى المحتوى من صبغات البناء الضوئى تحت ظروف الإجهاد الملحى وذلــك لأن إنزيمات هدم الكلوروفيلات تنشط تحت ظروف الإجهاد.**
- **لوحظ أيضاً حدوث تحور وتشوه فى حجم وشكل البلاستيدات الخضراء تحت ظروف الإجهاد الملحى وكذلك هدم ما بها من معقد البروتين ــ الكلوروفيل.**
- **لوحظ تثبيط نشاط الإنزيمات التى تساعد على تخليق الكلوروفيلات.**
- **زيادة المحتوى من أيونات Cl & Na فى الكلوروبلاست يؤثر علــى تخليــق ونشــاط الإنزيمــات المرتبطة بالحديد وكذلك إنزيمات Cytochrome Oaidase.**

- **الإجهاد الملحى يؤدى إلى نقص المحتوى من صبغات البناء الضوئى نتيجة لنقص تخليق السيتوكرومات فى جذور النبات ونقص إنتقالة إلى المجموع الخضرى للنبات وفى المقابل يحدث زيادة واضحة فى تخليق هرمونات مثبطة لتحليق الكلوروفيلات مثل هرمون ABA (حمض الإيثيسيك) وهذا الهرمون يؤدى إلى تنشيط هدم الكلوروفيلات مما يؤدى إلى دخول الأوراق فى طور الشيخوخة.**
- **يحدث تنشيط للتنفس الضوئى تحت ظروف الإجهاد الملحى مما يؤدى سرعة عمليات الهدم لصبغات البناء الضوئى فى الكلوروفيلات وخاصة تحت ظروف نقص المحتوى المائى بفعلل الإجهاد.**
- **لوحظ النقص الواضح فى المحتوى من الكاروتين تحت ظروف الإجهاد الملحى ومن المعروف أن للكاروتين دور فى منتهى الأهمية فى حماية الكلوروفيل من الهدم تحت ظروف الأكسدة الضوئية عن طريق التنفس الضوئى أو بفعل الجذيرات الحرة Free radicals مما ينتج عنه فى النهاية نقص المحتوى من الكلوروفيلات بصورة كبيرة.**

تأثير الإجهاد الملحى على المحتوى من البرولين فى الأنسجة النباتية
Effect of salinity stress on proline accumulation plant tissues

من أهم المحتويات البيوكيماوية تأثراً فى النبات تحت ظروف الإجهاد الملحى أو المائى هو المحتوى من الحمض الأمينى "برولين" والذى له علاقة وثيقة الصلة فى ميكانيكية مقاومة النبات لظروف الإجهاد.

من الوظائف الحيوية الهامة والتى يؤديها تراكم الحمض الأمينى برولين تحت ظروف الإجهاد عدة وظائف من أهمها.

وظيفة البرولين في الخلايا المعرضة للإجهاد الملحي:

- **ضبط الضغط الأسموزى.**
- **مخزن للكربون والنيتروجين اللازمين للنمو تحت الإجهاد.**
- **مضاد للتسمم بالأمونيا.**

- **ثبات البروتين والأغشية.**
- **تكنس الجزيرات الحرة.**
- **تحسن ثبات بعض أنزيمات الميتوكوندريا وأنزيمات السيتوبلازم.**
- **حماية الأنزيمات والأغشية ضد الملوحة.**
- **زيادة إنحلال البروتين.**

وتراكم البرولين يكون بسبب الإضطراب في هدم الأحماض الأمينيـــة المتعلــق بتكســير البـــروتين والشيخوخة الناتجة من الملوحة.

تراكم الجلوتامات والأمونيا في النباتات المعرضة للإجها الملحى يؤدي إلى إستحثاث تكوين البرولين بالتأثير المباشر أو الغير مباشر من نسبة المواد البنائية /المواد الناتجة.

سبب آخر لتراكم البرولين في النبات هو نقص نشـــاط كـــل مـــن Proline Dehydrogenase& Proline Oxidase .

بعض العلماء أشارو إلى أهمية الكربوهيدرات الذابة في إستحثاث تراكم البرولين عن طريـــق تثبـــيط أنزيمات هدم البرولين مما يؤدي إلى زيادة بناء وتراكم البرولين.

١ ــ ضبط الوسط الأسموزى لخلايا الأنسجة النباتية.

٢ ــ إزلة الآثار السامة لتراكم الأمونيا فى الخلايا.

٣ ــ الحفاظ على ثبات وحيوية البروتين والأغشية السيتوبلازمنه وعدم تأثرها بظــروف الإجهـــاد المدمرة.

٤ ــ يعتبر من أهم مواد مضادات الأكسدة حيث يعمل على حصـــدوكنس الجـــذيرات الحـــرة Free radicals من الأنسجة النباتية.

٥ ــ حماية وتنشيط وثبات إنزيمات الميتوكوندريا تحت ظروف الإجهاد.

٦ ــ يلعب البرولين دور هام جداً فى حماية الأنسجة النباتية تحت ظروف الإجهاد الملحى حيث يساهم فى ربط وتقييد العناصر السامة الممتصة تحت هذه الظروف.

٧ ــ يسهم البرولين فى ضبط PH السيتوبلازم.

من المهم أن تعرف أن محتوى البرولين يزداد ويرتفع تحت ظروف الإجهاد وذلك لحماية النبات من هذه الظروف ويرجع زيادة المحتوى من البرولين وزيادة تراكمه إلى نقص أكسدته من ناحية أو من زيادة هدم البروتين وتحوله إلى أحماض أمينيه منها البرولين.

- لوحظت علاقة وثيقة بين زيادة تراكم البرولين وزيادة المحتوى من السكريات الذائبة والتى تساعد على ضبط إسموزية الخلايا والأنسجة.
- من المعروف تراكم الجذيرات الحرة **Free radicals** يتم التحكم فيه بواسطة المواد الكانسة **Free radicals Scavengers** مثل **Catalase & Peroxidase & Super oxide & dismutase Sugars & Proline**.
- البرولين من المواد الكانسة **Scavengers** الفعالة فى أصطياد **(O^-H)** ويقوم بحماية الأغشية البلازمية من الأكسدة **enhance membrane lipid peroxidation**

تأثير الإجهاد الملحى على تراكم الأيونات
Effect of salinity stress on ion contents

لوحظ فى النباتات النامية تحت ظروف الملوحة المرتفعة حدوث تراكم بعض الأيونات فى أنسجة جذورها مثل الصوديوم والكلوريد ويتراكم وجود الصوديوم غالباً فى الفجوات العصارية **Vacuoles** وذلك لزيادة الضغط الإسموزى للعصير الخلوى لمقاومة الضغط الإسموزى المرتفع لمحلول التربة النامى فيها النبات.

الصوديوم والكلوريد

وتراكم عنصر الصوديوم فى الفجوات العصارية يسبب سمية كبيرة للخلايا كما أنه يتداخل مع مثل بعض الإنزيمات ويعوق عملها. كما أنه يتعارض مع البوتاسيوم فى العديد من التفاعلات ويؤثر عنصر الصوديوم

كذلك تأثيراً كبيراً على حيوية الأغشية البلازمية وكذلك الخيوط السيتوبلازمية Plamalemma حيث تفقد الأغشية البلازمية حيويتها وكذلك خاصية النفاذية الإختيارية التى تتمتع بها هذه الأغشية.

أما الكلوريد فإن تراكمة يسبب سمية أكثر من الصوديوم ويسبب نقص شديد فى كفاءة عملية البناء الضوئى. كما يؤدى أيضاً إلى نقص إمتصاص النبات للعديد من العناصر المغذية.

عنصر البوتاسيوم

أما عنصر البوتاسيوم فقد لوحظ حدوث نقص شديد لمحتواه فى أنسجة النباتات النامية تحت ظروف الملوحة المرتفعة حيث يقوم عنصر الصوديوم بالإحلال محل عنصر البوتاسيوم مما يؤثر على نفاذية الأغشية البلازمية. ويرجع السبب لنقص محتوى عنصر البوتاسيوم فى الأنسجة النباتية إما لهروبه وخروجه من الجذر إلى الوسط المحيط بالجذر من التربة الزراعية أو إلى نقص إمتصاصة بسبب تداخل عنصر الصوديوم فى إمتصاص البوتاسيوم وذلك لحدوث ظاهرة التضاد بين عنصرى الصوديوم والبوتاسيوم.

أيضاً لوحظ نقص واضح فى المحتوى من عناصر الفوسفور ــ الحديد ــ الزنك ــ النتروجين وذلك إما لهروب هذه العناصر من الجذر إلى خارج النبات أو لعدم إستطالة جذر النبات إمتصاص هذه العناصر بسبب الإسموزية المرتفعة جداً لمحلول التربة الخارجى المحيط بالجذر وكذلك للنقص الواضح فى إمتصاص الماء نظراً لظروف الإجهاد المرتفعة النامى فيها النبات.

عنصر الفوسفور

لوحظ نقص واضح فى محتوى النبات من عنصر الفوسفور تحت ظروف الإجهاد الملحى وذلك لأن عنصر الفوسفور غير متاح إمتصاصة تحت ظروف PH مرتفعة بسبب الوسط الملحى النامى فيه النبات (وسط قلوى شديد) كما لوحظ تناقص شديد فى إنتقال الفوسفور من الجذر إلى الساق بسبب إرتفاع الضغط الإسموزى لخلايا الجذر. كما أن النقص فى محتوى عنصر الفوسفور قد يرجع أيضاً إلى نقص إمتصاص النبات للماء بسبب الإسموزية المرتفعة لمحلول التربة.

النيتروجين

لوحظ نقص واضح فى المحتوى من النيتروجين للأعضاء النباتية المختلفة. كما لوحظ أيضاً تداخل الكلوريد بشدة وخاصة مع النيترات. كما يرجع نقص المحتوى من النيتروجين لنقص إمتصاصة بسبب نقص إمتصاص الماء المتاح تحت ظروف الإجهاد الملحى. كما يرجع السبب لنقص المحتوى أيضاً بسبب تأثير الكلوريد على النفاذية الاختيارية لأغشية خلايا الجذر.

الكالسيوم

يحدث تناقص فى المحتوى من الكالسيوم وذلك بزيادة تركيز الأملاح فى البيئة النامى فيها النبات. حيث لوحظ حدوث تضاد عنصرى الصوديوم والكالسيوم مما يسبب تثبيط فى إمتصاص عنصر الكالسيوم نظراً لوجود عنصر الصوديوم بوفرة.

تأثير الإجهاد الملحى على المحتوى من السكريات
Effect of salinity stress on Sugars Contents

أدت الملوحة الزائدة إلى نقص محتوى النبات من السكريات المختزلة بينما أدت إلى زيادة المحتوى من السكريات الغير مختزلة والذائبة. وذلك يرجع إلى تثبيط نشاط الإنزيمات المحللة hydrolytic enzymes. ويؤدى تراكم السكريات الذائبة والغير مختزلة إلى زيادة الضغط الإسموزى للعصير الخلوى للخلايا والأنسجة مما يؤدى إلى معادلة الضغط الإسموزى مع الضغط الإسموزى الخارجى الناتج عن الإجهاد الملحى.

محتوى الهرمونات الداخلية (ABA):

- الإجهاد سواء إجهاد مائي أو ملحي أو درجة حرارة منخفضة يعمل على تكوين الأبسيسك.

- الأبسيسك يتحكم في نمو النبات وتطورة وكذلك يتحكم في كثير من العمليات الفسيولوجية مثل غلق الثغور وتشكيل الجنين وتكوين البذور وتكوين مخزون البروتين والدهون والإنبات والشيخوخة والدفاع عن الخلية ضد الميكروبات والطفيليات.

- كما يلعب الأبسيسك دورا هاما في تكيف النبات لظروف البيئة.

- أثناء النمو الخضرى وتكوين الجذور يتكون الأبسيسك وتنقله إلى المجموع الخضري تحت ظروف الإجهاد.

- وفي النباتات البرية محتوى الأبسيسك يزيد في حالة الإجهاد المائي ولكن عند إزالة الإجهاد المائي ينقع تكوين الأبسيسك ويعود إلى مستواه قبل الإجهاد.

- زيادة الأبسيسك يقلل نقص الماء عن طريق نقص فتحه للثغور وينظم الأبسيسك عملية التكيف مع ظروف البيئة عن طريق خطوتين هما:

أولا: يعمل الأبسيسك عن طريق التأثير على إنتقال الإشارات في الخلية .

ثانيا: أو ينظم عن طريق جينات أو نواتج الجينات والتي تؤثر على عملية التكيف.

تأثير الإجهاد الملحى على المحتوى من مضادات الأكسدة
Effect of salinity stress on the contene of antioxidants

لوحظ زيادة المحتوى من مضادات الأكسدة الأنزيمية والغير إنزيمية بسبب الإجهاد الملحى ومثال ذلك زيادة أنشطة إنزيمات مضادات الأكسدة مثل Peroxdase , Catalase , Superoxid dismutase glutathione reductase , dehydro ascorbate reductase

كما لوحظ زيادة المحتوى من مضادات الأكسدة الغير إنزيمية مثل

Total phenols , a- Tocopherol , Citric acid , ascorbic acid , polypiptides , putruscin, glutathione.

ومضادات الأكسدة هذه تعمل كمواد كانسة Scavengers للجذيرات الحرة Free radicals الناجمة عن الإجهاد الملحى والذى يؤثر على التحولات الغذائية المضطربة والتى ينتج عنها ROS.

-نشاط مضادات الأكسدة الأنزيمية:

البيروكسيديز في النبات تدخل في تكوين الجدار الخلوي وبالأخص تكوين اللجنين والسيوبرين.

زيادة نشاط البيروكسيديز يقلل نمو النبات؛ وذلك بسبب أن البيروكسيديز يحفز تحول

diferulic acid ←———— ferulic acid

كما يقوم بتقليل ذوبان الجليكوبروتين الغني بالهيدروكسي برولين كما يؤدي إلى تيبس في جدار الخلية.

ولاصلاح الضرر الناتج من AOS :

يكون النبات نظام مضاد للأكسدة معقد وأول مركبات هذا النظام هي الكاروتينويد والأسكوربات والجلوتاثيون والتوكوفيرول والأنزيمات مثل السوبر أكسيد ديسميوتيز والكاتاليز والجلوتاثيون بيروكسيديز والأسكوربيك بيروكسيديز والأنزيمات الداخلة في دورة الأسكوربات جلوتاثيون مثل: الأسكوربيك بيروكسيديز وMono dehydro Ascorbate reductase و dehydro Ascorbate reductase وGlutathion Reductase .

ومعظم هذه المكونات لجهاز الدفاع المضاد للأكسدة توجد في مناطق تختلف في النبات وقد لاحظ أحد العلماء زيادة الأسكربيك بيروكسيديز في الكلوروبلاست المفصول من النباتات المتحملة للإجهاد الملحي (Nacl) ونفس النتيجة وجدت في نباتات الفجل بالنسبة للأسكوربيك بيروكسيديزالموجود في السيتوسول.

كما لوحظ في أنواع القمح المتحملة للصوديوم كلوريد زيادة نشاط APX و SOD وDHAR .

وقال أحد العلماء أن النبات يمتلك أنظمة مضادة للأكسدة في شكل أنزيمات مثل:SODو APXو GRو DHAR و CATبالإضافة لحمض الأسكوربيك والجلوتاثيون وألفا توكوفيرول والكاروتينويد والفلافونيدات وغيرهم.

وهذه مضادات أكسدة تزيد في حالة الإجهاد ويزداد نشاطها في النباتات المتحملة للإجهاد الملحي أكثر من المعرضة له.

زيادة نشاط مضادات الأكسدة يقلل إجهاد الأكسدة ويزيد الضغط الأسموزي وزيادة إختيارية إمتصاص الأيونات المفيدة ويمنع التراكم الزائد للأيونات السامة وبذلك يساعد في تحمل الإجهاد الملحي.

وقد وجد أن المقاومة الكبيرة للملوحة بالنسبة للقمح مرتبط بقدرته العالية على زيادة نشاط مضادات الأكسدة الأنزيمية مثل SOD&GR&CAT مما يقلــل إنتــاج H_2O_2 Lipid Peroxidation & وزيادة ثبات الغشاء.

التأثير المفيد لتراكم المواد الأسموزية مثل السكريات الذائبة و البرولين والبوتاسيوم يؤدي إلى زيادة RWS وثبات الأنزيمات الضرورية مثل SOD و GR وCAT مما يؤدي إلى نشاطها الكبيرتحــت الإجهاد الملحي.

المحتوى الكلى للفينولات:

الفينولات هي نواتج هدم ثانوية مثل الفلافونويد والتانينات واللجنين والهيدروســنامات إســتروهي كثيفى في أنسجة النبات.

-Polyphenols تمتلك تركيبة كيميائية مثالية للتخلص من الجزذيرات الحرة وهي أكثر فاعلية فــي التجارب المعملية أكثر من التوكوفيرول والأسكوربات .

-Flavonoids لها القدرة على تغيير عملية الــ Peroxidation عن طريق تغييــر نظــام تعبئــة الدهون وتقلق السوائل في الأغشية وهذا التغير يمنع تشــرب الجــذيرات الحــرة ويمنــع عمليــة الــPeroxidation (عملية تكوين H_2O_2) ولذلك فهي تحمى النباتات أيضــا مــن فــوق أكســيد الهيدروجين.

-الفينولات تؤخر أو تمنع الأكسدة الخارجية للدهون عن طريق وظيفتها في أسر الجــذيرات الحــرة وكذلك فهي مضادات أكسدة.

تزداد الفينولات الكلية مع زيادة مستوى الملوحة في التربة والتي تعمل على مقاومة هذه الملوحة.

المركبات الفينولية تعتبر وسيلة تكيف خلوية لأسر جذيرات الأكسجين الحرة أثنـــاء الإجهـــاد وهـــذه المركبات مع الأسكوربات تتأكسد في داخل الخلية مما يؤدي إلى ضرر بالخلية أيضا.

الإجهاد الملحي يؤدي إلى زيادة تكوين اللجنين

- نشاط مضادات الأكسدة الغير أنزيمية:

١ -الأسكوربيك:

تنقسم مضادات الأكسدة الغير أنزيمية إلى طائفتين:

١ -الأسكوربيك.

٢ -الصبغات مثل الكاروتينويد.

الأسكوربيك هو أهم مضادات الأكسدة لأنه لا يتفاعل فقط مع H_2O_2 ولكن أيضا مـــع O& OH& Lipid hydroperoxidase.

يدخل الأسكوربيك في العديد من الأنشطة الحيوية في النبات مثل :

١) أنزيم مساعد لأنزيم آخر.

٢) مضاد أكسدة.

٣) معطي أو مستقبل في نقل الألكترونات في غشاء البلازما أو في الكلوروبلاست.

وجميعهم يساعد النبات في مقاومة الأكسدة.

يستعمل الأسكوربيك بيروكسيديز حمض الأسكوربيك ويؤكسد إلـــى Mono dehydro Ascorbate والذي يتحول إلى Dehydro ascorate ويتعرض كـــل مـــن MDA&DHA للإختـــزال وذلـــك لإعادتها مستودع الأسكوربات.

وهذا النوع من مضادات الأكسدة يحدث بجوار PSI ولذا يقلل هروب الـــ ROS أو تفـــاعلهم مـــع بعضهم البعض.

الأسكوربيك هو أكبر نواتج الهدم في الكلوروبلاست في النباتات المتقدمة ويقـــدر بـــــ ١٠% مـــن الكربوهيدرات الذائبة في الأوراق.

٢ -المحتوى الكلى للفينولات:

الفينولات هي نواتج هدم ثانوية مثل الفلافونويد والتانينات واللجنين والهيدروســـنامات إســـتروهي كثيفى في أنسجة النبات.

-Polyphenols تمتلك تركيبة كيميائية مثالية للتخلص من الجزذيرات الحرة وهي أكثر فاعلية فـــي التجارب المعملية أكثر من التوكوفيرول والأسكوربات .

-Flavonoids لها القدرة على تغيير عملية الـــ Peroxidation عن طريق تغييـــر نظـــام تعبئـــة الدهون وتقلق السوائل في الأغشية وهذا التغير يمنع تشـــرب الجـــذيرات الحـــرة ويمنـــع عمليـــة الـــPeroxidation (عملية تكوين H_2O_2) ولذلك فهي تحمى النباتات أيضـــا مـــن فـــوق أكســـيد الهيدروجين.

-الفينولات تؤخر أو تمنع الأكسدة الخارجية للدهون عن طريق وظيفتها في أسر الجـــذيرات الحـــرة وكذلك فهي مضادات أكسدة.

تزداد الفينولات الكلية مع زيادة مستوى الملوحة في التربة والتي تعمل على مقاومة هذه الملوحة.

المركبات الفينولية تعتبر وسيلة تكيف خلوية لأسر جذيرات الأكسجين الحرة أثنــاء الإجهــاد وهــذه المركبات مع الأسكوربات تتأكسد في داخل الخلية مما يؤدي إلى ضرر بالخلية أيضا.

الإجهاد الملحي يؤدي إلى زيادة تكوين اللجنين.

-محتوى الجلوتاثيون المختزل:

الأهمية الفسيولوجية للجلوتاثيون في النبات تنقسيم إلى مجموعتين :

١ - هدم الكبريت والدفاع في النبات والحيوانات & والجلوتاثيون مضــاد للأكســدة و Redox Buffer.

٢ - تأثيره في التعبير عن جينات الدفاع حيث يدخل الجلوتاثيون في التحكم في تفاعلات الأكســدة والإختزال في إنقسام الخلية.

والأنزيمات التي تنظم عملية إعادة الجلوتاثيون والأسكوربات هي:

1) **Ascorbic Peroxidase.**
2) **Glutathion reductase.**
3) **Super oxide dismutase.**
4) **Monodehydroascorbate reductase.**

وتدخل هذه الأنزيمات في إعادة تكوين مضادات الأكسدة في خلايا النبات.

ودائرة الهدم هذه موجودة في كل من الكلوروبلاست والسيتوسول والتي تؤكسد بنجاح وتعيد إختــزل مضادات الأكسدة باستخدام NADH&NADPH كمعطيات للألكتروانات ويعمل الأسكوربيك كعامــل مختزل في إعادم بناء ألفا توكوفيرول وفي دورة Zeaxanthin.

الدور الثالث للأسكوربيك على سطح Thylakoidفي الكلوروبلاست والذي يعمل كعامل مختزل.

يختزل الأسكوربيك إلى Mono Dehydroascorbate radical كنتيجة لعملية Thylakoid.

ويعاد بناء الأسكوربيك بواسطة عملية تعتمـــد علـــى الضـــوء فـــيThylakoid والتـــي تســـتخدم Ferredoxin كمصدر للعامل المختزل.

وفي حالة الأكسدة الكاملة لـــDHA فإن GSH هو العامـــل المختـــزل فـــي عمليـــة إعـــادة بنـــاء الأسكوربيك والجلوتاثيون المتأكسد والمتكون يعاد إختزاله عن طريق GR حيث يلعـــب APX دور هام في هذه العملية.

العملية التي تحدث في الكلوبلاست والمتعقلة بامتصاص أو سحب الأكسجين ووظيفة APX وإختزال الأكســـجين الجزيئـــــي تســـــمى حـــــديثا باســـــم Mehler Ascorbate Peroxidase Photorespiration.

يعمل GSH كمضاد للأكسدة بطرق عديدة هي :

١ - يتفاعل يميائيا مع الأكسجين الذري والسوبر أكسيد والهيدروكسيل وبـــذلك يعمـــل بطريقـــة مباشرة على أسر الجذيرات الحرة .

٢ - يعمل على زيادة ثبات تركيبة غشاء النبات بواســـطة إزالـــة Acyle peroxide المتكـــون بواسطة تفاعل Lipid Peroxidation.

٣ - عامل مختزل والذي يعيد دورة الأسكوربيك من الشكل المتأكسد إلى الشكل المختزل بواســـطة أنزيم dehydroascorbate reductase.

٤ - GSH يختزل dehydroascorbate بواسطة عملية غير أنزيمية عنـــد pH›7 وتركيـــز GSHأكبر من ١µm وهذا يحدث في الكلوروفيل الذي يصل pHالخاصة به إلى ٨ وتركيز GSH إلىµm ٥.

دور بعض مواد النمو ومضادات الأكسدة فى التغلب على الأثر الضار للإجهاد الملحى
Effect of some growth substances and antioxidants on counteracting the Harmfull effect of salinity stress

أولاً: دور مواد النمو

لوحظ أن لمواد النمو مثل الأوكسينات والجبريليين والكينين أثر فعال فى التغلب على الأثر الضار للإجهاد الملحى. وذلك من خلال إحداث تراكم لنواتج التحولات الغذائية مثل البرولين ــ الأمينات ــ السكريات ــ الأيونات ــ البولى أمينات وهذا يؤدى إلى زيادة الضغط الإسموزى للعصير الخلوى لمقاومة الإجهاد الملحى الخارجي علاوة على أن هذه المواد أيضاً تعمل كمضادات أكسدة.

علاوة على ذلك فإن مواد النمو (الهرمونات النباتية) أيضاً تؤدى إلى تنشيط عمليات فسيولوجية معينة يكون من نتيجتها التغلب على الأثر الضار للإجهاد الملحى على المحتوى البيوكيماوي والنمو للنبات وذلك من خلال:

- § تعمل الهرمونات على زيادة وتنشيط نمو الجذر وفى نفس الوقت تقليل مقاومة الجذر لإنسياب الماء إلى الداخل (زيادة إمتصاص الماء)
- § تعمل الهرمونات على التغلب على الخلل والتغيرات التى حدثت فى المحتوى من العناصر ــ صبغات البناء الضوئى ــ المحتوى الداخلى من الهرمونات النباتية.
- § تعمل الهرمونات على زيادة إمتصاص الماء من خلال الجذور وبالتالى زيادة إمتصاص العناصر المغذية.
- § تؤدى الهرمونات إلى زيادة المحتوى من البوتاسيوم (K) عن طريق زيادة إمتصاصة ــ كما تؤدى إلى زيادة تراكم السكريات فى أنسجه النباتات.
- § المعاملة بالهرمونات النباتية النشطة تؤدى إلى زيادة نسبة المنشطات إلى المثبطات من المحتوى الداخلى للهرمونات النباتية مما ينشط النمو وبالتالى التغلب على الأثر الضار للإجهاد الملحى.

- **تؤدى الهرمونات إلى زياده المحتوى من الكربوهيدرات ــ البرولين ــ الأحماض العضوية ــ ومــن المعروف أن هذه المواد معروف عنها أنهــا منظمــات أســموزيه Osmoregulators وكــذلك كمضادات أكسدة للجذيرات الحرة Free radicals الناتجة عن الإجهاد الملحى.**
- **تؤدى الهرمونات للتغلب على الأثر الضار للملوحة من خلال تنشيط تخليق الكلورفيلات وتثبيط هــدم صبغات البناء الضوئى.**
- **تؤدى الهرمونات أيضاً إلى زيادة المحتوى من الكاروتين – الجلوتاثيون - التوكــوفيرول وبعــض الإنزيمات مثل Catalase & GR & APX & SOD وكلها مضادات أكسدة وتحمى الخلايا من ROS الناتج من الإجهاد الملحى.**

ثانيا: دور مضادات الأكسدة

Role of antioxidant materials on mitigate the harmfull effect of salinity stress.

تتواجد مضادات الأكسدة بصورة طبيعية فى خلايا أنسجه النبات وهذه المواد تنشط عنــد تعــرض النبــات لظروف الإجهاد Stress المختلفة وتعمل هذه المواد على كنس وأصطياد الجذيرات الحرة أو الشوارد الحرة Free radicals وحماية الخلية ومكوناتها من الأضرار الناتجة عن أكسدة الشوارد الحرة لأى من الأغشية البلازمية DNA.

ومضادات الأكسدة منها ما هو إنزيمى وما هو غير إنزيمى ومنها:

Superoxide dismutase (SOD)
- Catalase (CAT)
- Ascorbate peroxidose (APX)
- Glutathion reductase (GR)
- monodehydro ascorbate reductase (MDAR)
- Flavonoids.
- Carotenoids.
- Ascorbic
- Citric
- a- Tocopherol
- Poly and dipiptides
- Salicylic.

دور حمض السالسيلك في تقليل تأثير الإجهاد الملحي:

١. **يقلل السالسيلك نسبة الصوديوم إلى البوتاسيوم في الجذور ويزيد تراكم الصوديوم في خلايا الأوراق يعمل كـ Osmolyte غير عضوي ويؤدي إلى زيادة جهد الماء ومحتوى الماء.**

٢. **ولذا فإن السالسيلك يحسن الأداء الضوئي للنبات تحت ظروف الإجهاد وطيف الكلوروفيل يعطي إشارة عن قدرة النبات على تحمل الإجهاد.**

٣. **وهذا يدل على أن المعاملة بحمض السالسيلك يحسن معدل التحول الغذائي للكربون تحت الضغط الأسموزي.**

٤. **في وجود حمض السالسيلك يتراكم مواد مختلفة مثل السكريات والكحولات والبرولين ويقوم POD&APX&GR & SOD بتغيرات مختلفة عند ١٠-٧ µm&١٠-٤ µm من السالسيلك.**

٥. **المعاملة بالسالسيلك يزود مستوى GSH ويزود نسبة GSH إلى GSSG وذلك يشير إلى قوى مضادة للأكسدة.**

٦. **الأوراق المعاملة بتركيزات عالية من السالسيلك (٥ µm) يراكم الكلوروفيل وأشباه الكاروتينات والأوراق المعاملة بالسالسيلك يبدو نشاط عالى للسوبر أكسيد ديسميوتيز.**

٧. **المعاملة بالساليسلك يلاشي التغير في مستوى الهرمونات الضوئية في بذور القمح تحت الإجهاد الملحي وهذا يمنع أي إنخفاض في IAA&Cytokinine ويقلل التأثير المثبط للإجهاد على نمو النبات.**

٨. **زيادة مستوى APA في بذور القمح المعاملة بالساليسيلك.**

دور الأسكوربيك والجلوتاثيون والسيتريك والتوكوفيرول في تقليل الإجهاد الملحي:

كل هذه المواد تقلل التأثير الضار لــ ROS عن طريق عدة أسباب:

1) **يمنع Lipid Peroxidation.**
2) **يدخل في إنتقال الإلكترونات في النظام الضوئي الثاني ونظام مضاد الأكسدة في الكلوروبلاست .**
3) **يزيد ثبات الغشاء ومضادات الأكسدة تعمل على أسر Oxygen Free Radical**
4) **Lipid Peroxy radical &Singlet Oxygen& .**
5) **يتفاعل مع Peroxyl radical المتكون في الغشاء المزدوج.**
6) **يأسر فوق أكسيد الهيدروجين ويتفاعل غير أنزيميا مع ROS الأخرى مثل Single Oxygen و Super oxide radical و Hydroxyl radical.**
7) **إعادة تكوين مضادات الأكسدة الذائبة في الماء وحمض الأسكوربيك عن طريق دورة الأسكوربات جلوتاثيون.**
8) **يقوم بتثبيت تركيب الغشاء.**
9) **يقلل نفاذية Digalactosyl glycerol vesicle للجلوكوز والبروتين.**

دور Polyamine في تقليل الإجهاد الملحي:

1. **يشمل الأسبرمين والاسبيرميدين والذي يعمل على تكيف النبات مع الإجهاد.**
2. **تلعب دورا كبيرا في النظام المضاد للأكسدة وحماية الغشاء من الــ Peroxidation.**

تأثير البولي أمين في تقليل تأثير الملوحة على النمو نتيجة عدة عوامل هي:

1. **تنشيط جهاز المناعة المضاد للأكسدة.**
2. **يقلل مستوى السوبر أكسيد وفوق أكسيد الهيدروجين في الأوراق.**
3. **يقلل فوق أكسيد الهيدروجين وبالتالي يقلل تدمير الخلايا.**
4. **يختزل ال ROS عن طريق إخماد الأكسيجين الذري ويثير الكلوروفيل عن طريق زيادة مستوى الكاروتين وبذلك يحافظ على غشاء الكلوروبلاست.**
5. **يقلل تسريب الغلاف ويقلل محتوي MDA ويقلل Lipid peroxidation في أوراق النبات.**
6. **نتيجة طبيعته (poly cationic) وبذلك يمنع تدمير الخلايا.**
7. **يزيد نشاط APX&GR&CAR&GSHفي كل مستويات الملوحة.**
8. **يستحث تكوين الكلوروفيل ويمنع تكوين الكلوروفيل.**
9. **يزيد كل التركيزات العضوية والتي تعزي تدخل PAsفي العمليات الحيوية مثل الإتزان الأيوني وتكوين DNA&RNA والبروتين.**

التغيرات الفسيولوجية الناتجة عن الإجهاد الناشئ عن التعطيش

Drought stress

١ ـــ إرتفاع معدل النتح يؤدى إلى الذبول وخروج الماء من الخلايا الحارسة يؤدى إلى غلق الثغور.

٢ ـــ يحدث الذبول الناتج عن نقص المحتوى المائى على عدة مراحل:

- **درجه ما قبل الذبول: حيث تفقد الخلايا الماء بدرجة جزئية ولا يحدث بسبب ذلك ذبول وتحدث هذه الحالة أثناء الظهيرة.**

- **الذبول المؤقت: وهى حالة مؤقتة أيضاً وفيها يحدث معدل النتح بدرجة أكبر من معدل الامتصاص فى الجو الحار وتتلاشى هذه الحالة أثناء الغروب والليل حيث تغلق الثغور تماماً وينخفض معدل النتح بدرجة ملحوظة.**
- **الذبول الدائم: وهى مرحلة متقدمة لا يشفى منها النبات إلا بإضافة ماء للتربة وإذا أستمر الذبول الدائم عدة أيام يموت النبات وفى حالة الذبول الدائم يتوقف النمو تماماً نتيجه لمعدل الفقد الماء يكون أكبر من معدل الإمتصاص بإستمرار وتنغلق الثغور تماماً.**
- **أقصى درجات الذبول: بإستمرار الحالة السابقة تزداد أعراض الذبول وتعم جميع أوراق النبات إبتداء من الأوراق السفلى.**

التغيرات البيوكيماوية الداخلية فى المحتوى من مضادات الأكسدة تحت ظروف التعطيش

يؤدى الإجهاد المائى إلى حدوث عدم توازن بين المحتوى من مضادات الأكسدة فى الأنسجة النباتية وبين الجذيرات الحرة Free radicals ومنها (Ros) والناتجة عن عمليات الأكسدة تحت ظروف الإجهاد المائى.

من المعروف أن كل من Carotenoids & Tacopherol (vitamin E) & ascorbate (vit.c) & glutathion تؤدى وتساعد هذه المواد من مضادات الأكسدة على حماية أغشية جهاز البناء الضوئى تحت ظروف إجهاد الأكسدة.

- **وجد أيضاً تمركز a- Tocopherol داخل البلاستيدات الخضراء وهذا المركب أيضاً يلعب دور مهم جداً فى عملية البناء الضوئى وخاصة فى القسفره الضوئية غير الدائرية**

Non cyclic photo phosphorylatio وبالذات فى (PSI). Photosystemt ومعنى ذلك أن مضاد الأكسدة (a-Tocopherol) يقوم بحماية جهاز البناء الضوئى علاوة على أن هذا المركب أيضاً يشجع على تكوين وتخليق مضادات أكسدة أخرى مثل ascorbate (ASA) & Carnosic acid (CA)

- **الإجهاد المائى (Drought stress) يؤدى كذلك وبشدة إلى نقص واضح وكبير فى تمثيل Co_2 فى عملية البناء الضوئى وذلك لإنغلاق الثغور بفعل نقص الماء بالخلايا الحارسة. كما يؤدى نقص الماء أيضاً (water stress) إلى نقص شديد فى نشاط إنزيمات البناء الضوئى وخاصة Ribulosebiphoscarboxylase (RBP caeboxylase).**
- **يؤدى Drought stress إلى إنتاج Ros بوفرة وهذه الجذيرات الحرة يمكن كبحها بمواد مضادات الأكسدة. وعموماً فإن النباتات تحت ظروف الإجهاد المائى يحدث بها العديد من التغيرات مثل:**

1- increased production of ROS and of oxidized target mdecules.

زيادة إنتاج الشوارد الحرة والمركبات المؤكسدة الضارة.

2-increases in the expression of genes for antioxidant functions.

زيادة نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة.

3-increases Scavenging capacity for Ros resulting in tolerance against drought stress.

زيادة المواد الكانسة للجذيرات الحرة لمقاومة إجهاد الجفاف.

4- increasesx in the levels of an tioxidants and antioxidative system.

زيادة المحتوى من مضادات الأكسدة ونظام مضادات الأكسدة.

- **ومن أهم نواتج تأثير Ros هو أكسدة الأغشية البلازمية Lipid Peroxidatian وكذلك إحداث خلل كبير جداً بين الطاقة المنتجة داخل الخلية والطاقة المستهلكة مما يؤدى كذلك إلى تخليق مواد سامة تعمل على الأضرار بمكونات الخلية.**

من المواد الهامة جداً والتى تعمل على إزالة الأثر السام الناتج عن تفاعلات Ros مركبات عديدة منها.

1. **Supesoxide dismutase (SOD)**
2. **Catalase (CAT)**
3. **Ascorbate Peroxidase (APX)**
4. **Peroxidase (POD)**
5. **Glutathion reductase (GR)**
6. **Mono dehydro ascorbate reductase (MDAR)**

7- **Flavonoids**
8- **Anthocyanins**
9- **Carotenoids**
10- **Ascorbic acid**

- **ونظراً لأهمية الدور الذى يلعبه الأسكوربيك كمضاد للأكسدة والحفاظ على مكونات الخلية من الأكسدة والهدم والدمار فإنه يمكن إيجاز أهم الأدوار التى يلعبها (AA) حمض الاسكوربيك فى خلايا الأنسجة النباتية كالتالى:**

1- **as an enzyme Co-factor.**
2- **as antioxidant.**
3- **as doner acceptor in electron transport at the plasma membrane or in chloroplasts.**

كل من هذه الأدوار التى يلعبها الاسكوربيك لها علاقة وثيقة جداً بمقاومة الإجهاد Oxidatio stress. كما أن له علاقة وثيقة أيضاً بعملية البناء الضوئى وكذلك تخليق مركب مضاد الأكسدة a- Tocopherol

التغيرات المورفولوجية والفسيولوجية الناتجة عن الإجهاد الناشئ عن البرودة Cold stress

١ ــ نقص المحتوى المائى فى الأنسجة النباتية مما يؤدى إلى موت النبات فى النهاية.

٢ ــ البرودة فوق درجة التجمد تسبب أضرار كبيرة للنبات الإستوائية وتحت الإستوائية وقد يموت النبات فى النهاية وخاصة إذا ما تعرضت لدرجة ٠.٥ ــ ٥.٥ ْم لمدة ٣٦ ساعة وذلك بسبب التحولات الغذائية المضطربة تحت هذه الظروف.

٣ – إنخفاض الحرارة لدرجة التجمد تؤدى إلى تجمد الماء داخل وبين الخلايا مكوناً بللورات ثلجية تعمل على تهتك الجدر والأغشية البلازمية مما يؤدى إلى موت الخلايا.

٤ ــ إنخفاض درجة الحرارة يؤدى إلى سحب الماء من الخلايا إلى المسافات البينية مما يؤدى إلى جفاف البروتوبلازم فتتغير صفاته وربما يتجمد.

التغيرات البيوكيماوية الناشئة عن إجهاد البرودة:

١ ــ لوحظ نقص واضح فى محتوى الكلوروبلاست من a- Tocopherol تحت ظــروف البــرودة. وهــذا المركب من أهم مركبات مضادات الأكسدة فى الكلوربلاست.

٢ ــ تنشيط بعض التفاعلات والتحورات فى التحولات الغذائية ويتبعها إنتاج Free radicals مثل (ROS) والتى لها تأثير مدمر على الأغشية البلازمية والمحتوى من DNA.

الإجهاد الناشئ عن الحرارة المرتفعة

Heat stress

التغيرات الفسيولوجية الناتجة عن إرتفاع درجة الحرارة:

١ ــ يؤدى إرتفاع درجة الحرارة إلى زيادة معدل النتح بدرجة أكبر من معدل الإمتصاص مما يــؤدى إلــى نقص شديد فى المحتوى المائى للأنسجة مما يؤدى أيضاً إلى موت الأوراق والأفرع وقد يموت النبــات فى النهاية.

٢ ــ إرتفاع درجة الحرارة يؤدى إلى حدوث إضطرابات فى التحولات الغذائية بالخلايا فمثلاً يزيد معدل الهدم (التنفس) بدرجة أكبر من معدل البناء فيصبح النبات قزماً ويموت فى النهاية.

٣ ــ إرتفاع درجة حرارة التربة فى بعض الأحيان إلى ٧٠ ْم يؤدى إلى موت ســيقان النباتــات الصــغيرة الملاصقة للتربة.

٤ ــ بعض النباتات تتحمل درجات الحرارة المرتفعة وذلك بإحاطة سيقان بعض الأشجار بطبقة سميكة مــن الفللين (القلف) وهو رديء التوصيل للحرارة.

٥ ــ تعرض النباتات لدرجات حرارة مرتفعة يؤدى إلى نقص فى تخليق البروتينات الطبيعية وكذلك يحــدث تغير فى عمليتى النسخ والترجمة Translation & Transcription مما يــؤدى للحصــول علــى بروتين جديد يعرف بإسم Heat shock protein (HSP) ويتخلق هذا البروتين إذا ما تعرض النبات لدرجة حرارة بأعلى من الحد الأمثل بحوالى ٥ ْم.

٦ ــ درجة الحرارة المرتفعة تؤدى إلى حدوث أضرار فى التركيب الخلوى وكذلك تراكيــب العضــيات فــى الخلية ويحدث أيضاً تدهور فى وظيفة الأغشية البلازمية كما يحدث أيضاً تغيير فى التعبير الجينى Gene expression

التغيرات البيوكيماوية الناشئة عن الإجهاد الحرارى:

لوحظ أن تحت تأثير الحرارة المرتفعة يتم إنتاج ROS بكميات وفيرة وهذه الجذيرات الحرة لها تأثير مدمر على نواتج التحولات الغذائية كما أنها تقوم بأكسدة الأغشية البلازمية وإتلافها كما أنها تدمر المحتوى مــن DNA.